FONDO PIZZOFALCONE

BIBLIOTECA PROVINCIALE

Armadio

Palchetto

Num.° d' ordine

NAZIONALE
B. Prov.
R. BIBLIOTECA
VITT. EM. III
2058
NAPOLI

B. Prov. II 2058

Digitized by Google

Digitized by Google

DES CANAUX

D'IRRIGATION.

Digitized by Google

PARIS. — IMPRIMERIE DE FAIN ET THUNOT,
IMPRIMEURS DE L'UNIVERSITÉ ROYALE DE FRANCE,
Rue Racine, 28, près de l'Odéon.

Digitized by Google

611325

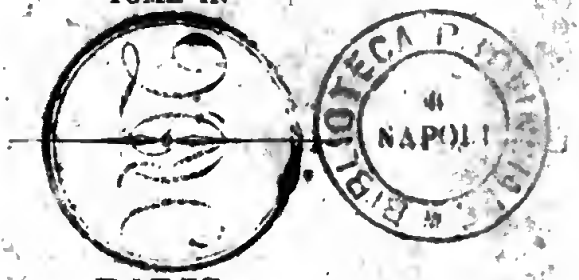
DES CANAUX D'ARROSAGE
DE
L'ITALIE SEPTENTRIONALE
DANS LEURS RAPPORTS AVEC CEUX
DU MIDI DE LA FRANCE.

TRAITÉ
THÉORIQUE ET PRATIQUE
DES
IRRIGATIONS

ENVISAGÉES SOUS LES DIVERS POINTS DE VUE
DE LA PRODUCTION AGRICOLE, DE LA SCIENCE HYDRAULIQUE
ET DE LA LÉGISLATION;

PAR M. NADAULT DE BUFFON,
INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES,
CHEF DE LA DIVISION DES COURS D'EAU, USINES, DESSÉCHEMENTS, IRRIGATIONS ET SERVICES DIVERS, AU MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS; ASSOCIÉ ÉTRANGER DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES DE TURIN.

TOME II.



PARIS.
CARILIAN-GŒURY ET Vor DALMONT,
LIBRAIRES DES CORPS ROYAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,
Quai des Augustins, nos 39 et 41.

1843

Google

Digitized by Google

EXPLICATION DES PLANCHES

A joindre à la fin du tome 2.

Pl. I et II.

Cartes générales.

Pl. III.

Carte des canaux du Piémont.—Elle indique: 1° les canaux royaux, situées dans les provinces d'Ivrée et de Verceil; 2° les grands canaux particuliers des provinces de Novare et de Mortara; 3° plusieurs canaux secondaires dont la plupart sont d'intérêt communal.

Pl. IV.

Carte des grands canaux de navigation et d'arrosage du Milanais.

Pl. V.

Carte hydrographique, d'après laquelle on voit que les neiges et les glaces qui alimentent le Tessin et l'Adda, occupent dans les Alpes-Milanaises une superficie de plus de trente mille hectares.

Sur la même planche se trouvent représentés : 1° la jonction des eaux de ces deux rivières dans les murs de Milan, à l'aide du canal intérieur de cette ville; 2° l'emplacement de l'écluse de *Viarenna*, première écluse à sacs et à portes busquées, construite vers le milieu du XVe siècle.

Pl. VI.

Fig. 1. *Prise d'eau du Naviglio-Grande, dérivé du Tessin.*
a. a. — Barrage de dérivation.

b. — *Bouche de Pavie*, de 65^{m} de largeur.
a'. a'. — Grande digue *dei Gaggi* en maçonnerie de libages, réparée en 1829.
d. d. — Premier déchargeoir du canal.
d'. — Maison de l'administration.
u. — Auberge.
f. — Chaîne pour intercepter, pendant la nuit, le passage des bateaux sur le canal.
h. h. — Bras dei Gaggi.
i. i. — Bras de Gagetti.
g. g. — Grands dépôts de graviers et cailloux occasionnés par la crue extraordinaire de 1823.
f. f. — Ancien bras *del Pozzo*, qui recevait un volume considérable des eaux du Tessin, avant la crue susdite.
e. e. — Chemin allant au port de Lonate.
l. l. — Revêtements et ouvrages de défense.
l'. — Éperon de *Mancini*.
Fig. 4. *p.* — Blocs de granit et libages.
o. o. — Béton.
q. q. — Maçonnerie.
p. p. — Grandes dalles de granit.
n. — Banquette temporaire en galets, pour soutenir les hausses mobiles que l'on place en temps de basses eaux.
s. s. — Enrochements.

Pl. VII.

Fig. 1. *Prise d'eau du canal de Paderno, dans l'Adda.*
a. — Éperon et enrochements.
b. — Barrage de prise d'eau.
d. — Magasins de l'administration.
c. — Moulins.
f. — Ancien déchargeoir abandonné.
g. g'. g''. — Déchargeoirs actuels.
h. — Première écluse.

Digitized by Google

Ce canal, destiné dans l'origine aux arrosages et à la navigation, ne sert plus qu'à ce dernier usage. Il est presque continuellement menacé de destruction par la violence des crues de l'Adda, dont on ne l'a pas suffisamment préservé.

Fig. 2. *Prise d'eau du canal de la Martesana.*

d. — Barrage de dérivation.
a. — Chaîne de séparation du port de Trezzo.
b. b. — Maisons et magasins à l'administration.
c. c. — Pertuis ou déchargeoirs libres.
e. Moulins de Trezzo, établis sur la retenue du barrage.
g. g. — Chemin de halage.
h. h. — Chemin des moulins.
m. — Moulins de Capriate.
e. — Barrage de ces moulins.
n. — Moulins Bagari.
p. — Barrage de ces moulins.
f. f. — Ponts en bois, pour le service des moulins de Trezzo et de Capriate.

Fig. 3. Prise d'eau du canal de la commune de Parella, dans le torrent de la Chiusella.

Pl. VIII.

Fig. 1. . . 11. — Détails relatifs à l'établissement de la nouvelle prise d'eau de la roggia de Parella, dans le torrent de Chiusella.

Fig. 12. . . 15. — Détails, dimensions et manœuvre des vannes de décharge et autres, employées sur les canaux d'arrosage, tant en Piémont que dans le Milanais.

Pl. IX.

Fig. 1. . . 7. — Détails sur divers procédés de jaugeage des eaux courantes.

Digitized by Google

Fig. 8 . . . 15. — Description et détails des *modules* usités dans les principales provinces irrigables d'Italie.

Pl. X et XI.

Profils relatifs au tracé et à l'établissement des canaux d'irrigation dans la Lombardie et le Piémont.

Pl. XII.

Fig. 1 et 2. — Régulateur pour une prise d'eau d'une *roue* de Piémont, effectuée dans le Naviletto de Saluggia au profit de la commune de ce nom.

Fig. 3. . . 6. — Régulateur semblable, pour une dérivation de trois onces d'eau prises dans le canal de Pobietto au profit de la commune de Fontanetto (Piémont).

Fig. 7 et 8. — Détail des divers ouvrages établis pour une distribution d'eau sur les roggie Bealera et de Morano (Piémont).

Pl. XIII.

Fig. 2 et 1. — Plan et coupe d'un module complet dans le système milanais pour une bouche de 10 onces, formant la prise d'eau du canal Taverna, établie sur la rive gauche du Naviglio-Martesana, province de Milan, commune de Gorla, à 412^{m} en amont du vieux pont de cette commune. — Une dérivation d'une moindre portée traverse ce canal, dans une direction perpendiculaire, au moyen d'un pont-aqueduc en bois, à ciel ouvert. Cet aqueduc se trouve placé immé-

diatement en aval de la bouche régulatrice; mais sans influer sur son débit.

Pl. XIV.

Fig. 3 et 1. — Plan et coupe longitudinale d'un des partiteurs du canal Marocco, desservant les territoires de Milan et de Lodi.

Fig. 5 et 4. — Plan et coupe longitudinale d'un module, pour une bouche de prise d'eau de six onces sur le même canal.

Pl. XV.

Fig. 1 et 3, 4 et 5. — Autres partiteurs sur le même canal.

Fig. 6. — Détail des deux systèmes de partiteurs.

Pl. XVI.

Fig. 1 et 2. — Chute des eaux du canal de Cigliano dans l'Elvo.

Fig. 5, 6, 7. — Détails et dimensions des bouches usitées en Piémont.

Fig. 8, 9, 10. — Détails et dimensions des bouches, d'après le module milanais.

Fig. 4 et 3. — Plan et coupe d'un régulateur dans l'ancien système de Piémont pour la dérivation d'une once d'eau du canal de Cigliano.

Pl. XVII.

Fig. 2 et 1. — Plan et coupe longitudinale d'un ouvrage d'art en maçonnerie de briques, comprenant un pont, un pont-canal et un régulateur pour la dérivation d'une roue d'eau

de Piémont, extraite du canal de Saluggia.

Fig. 5, 3, 4. —Plans et coupes longitudinales de deux régulateurs contigus pour la dérivation, l'un de 8 onces, l'autre de 6 onces de Piémont, du Naviletto, de Saluggia, en remplacement d'anciens régulateurs imparfaitement construits en bois.

Pl. XVIII.

Fig. 1 et 2. —Pont sur le canal Taverna, au point où il traverse la route de Milan à Venise.

Fig. 3 et 4. —Pont sur le même canal, à la traversée de la route de Valazze.—Jointivement à la tête d'amont, se trouve placé un aqueduc en bois, qui est la continuation d'un colateur dépendant du canal de la famille Melzi.

Fig. 6, 5, 7. —Plan et coupes de l'ouvrage d'art, au moyen duquel le même canal passe, dans une direction biaise, au-dessous de la route de Locate à Vespoledo, et au-dessus d'un colateur qui vient déboucher dans le canal d'arrosage de la famille Litta.

Pl. XIX.

Plan, coupe et élévation du pont-canal construit sur le vallon de la Druse, pour le passage du Naviletto de la Mandria de Santhia, province d'Ivrée.

Pl. XX.

Elévations, plan et coupes de deux ponts-canaux construits en briques et pierres de taille, pour le passage du canal Marocco sur le Lambro.

Digitized by Google

Pl. XXI.

Fig. 1 et 2. —Siphon accompagné de deux ponts-aqueducs au moyen desquels le canal Taverna passe : 1° sur la roggia del Viale ; 2° sous la route communale de Grazie ; 3° sous le cavo Tecchione.

Fig. 3 et 4. —Siphon et pont-aqueduc, à l'aide desquels le même canal passe sous le cavo Borgognone et sous la route communale de la Senovra.

Fig. 5 et 6. —Siphons et ponts-aqueducs, au moyen desquels le même canal passe : 1° sous la roggia Mozzani ; 2° sous la route communale de Bagnolo ; 3° sous la roggia Greppi.

Fig. 7 et 8. —Siphon et ponts-aqueducs à l'aide desquels le même canal passe : 1° sous un colateur dépendant du canal Litta ; 2° sous la route communale de Paullo ; 3° sous la roggia Sala.

Fig. 9 et 10. —Siphon et pont-aqueduc, au moyen desquels le même canal passe sous la roggia de la Malpaga.

Pl. XXII.

Plans et coupes de divers ouvrages d'art appartenant à des canaux d'arrosage du Piémont et du Milanais.

Pl. XXIII.

Fig. 1, 2, 3, 4. —Détail d'un des siphons établis sous le canal de Pavie.

Fig. 5, 6, 7. —Système de revêtements adoptés sur le même canal.

Fig. 8 et 9. —Coupe d'un des siphons, au moyen desquels les canaux Taverna et Rastelli passent aux abords de Milan : 1° sous la grande route de Mantoue ; 2° sous le canal Redefosso.—*Nota*, le plan correspondant à cette coupe, se trouve pl. XXII, fig. 6.

Pl. XXIV.

Fig. 1. . . 5. —Plans et coupes de deux siphons sur le canal Marocco.

Fig. 6. —Plan d'une des écluses à double passage du canal de Paderno.

Fig. 7. . . 9. —Détails relatifs à la construction et à la manœuvre des portes.

Pl. XXV.

Plan et coupes d'une écluse à double passage, appartenant au canal de Pavie.

Pl. XXVI.

Fig. 1 et 2. —Détail du batardeau de chômage ou barrage temporaire, établi à l'aide de chevalets, fascines et toiles, servant à mettre à sec les canaux du Milanais.

Fig. 3, 4, 5, 6, 7 et 8. —Détails des procédés employés dans le même pays, pour canaliser, au profit des arrosages, les eaux de sources ou de fontaines.

OBSERVATIONS PRÉLIMINAIRES.

J'ai vainement cherché à renfermer cet ouvrage dans les deux volumes que j'avais d'abord crus devoir suffire; car l'importance des matières qui doivent y trouver place, le nombre des documents et détails qui s'y rattachaient, enfin, l'impossibilité d'y faire des suppressions sans détruire une partie de leur utilité, m'eurent bientôt démontré la nécessité réelle d'étendre ce cadre à trois volumes, au lieu de deux. En un mot, le sujet que j'ai entrepris de traiter avait ses proportions fixes et déterminées; pour les restreindre, il eût fallu le mutiler.

La division en trois volumes présente d'ailleurs un avantage notable; celui d'établir une classification très-simple des matières, en ce que l'on trouve séparément, dans le tome I, la partie historique et descriptive; dans le tome II, la partie pratique proprement dite; enfin, dans le tome III, l'administration et le contentieux des canaux d'arrosage. Tout en restreignant chaque matière aux seuls développements indispensables, il a fallu aussi, en raison de leur importance relative, faire une

sorte de répartition préalable de l'espace qui pouvait leur être consacré.

Quelques personnes trouveront peut-être que j'ai donné trop d'extension au livre IV, qui ne traite que de la mesure des eaux; mais si j'ai tenu à approfondir la question des jaugeages et celle des modules, ce n'était point d'après le désir d'écrire principalement pour les ingénieurs; c'est parce que j'ai la conviction que les développements de cette nature sont du nombre de ceux qui intéressent le plus directement l'avenir des irrigations.

J'ai déjà eu l'occasion de démontrer que le choix d'un *régulateur* exact pour la distribution des eaux, était le seul moyen d'introduire l'ordre et la légalité dans la pratique des arrosages; il est facile de reconnaître que la connaissance des bonnes méthodes de *jaugeage* n'est pas d'un moindre intérêt. En effet, il faut recourir continuellement aux opérations de cette espèce, soit pour les vérifications fréquentes que réclament les canaux existants, soit pour l'étude préalable des projets de canaux à ouvrir.

L'importance particulière d'un jaugeage provient de ce qu'étant à la fois une opération d'art et de science, qui n'est familière qu'à un petit nombre de personnes, ses résultats ont presque toujours, dans les contestations, le caractère d'une décision. Or, les intérêts qui se trouvent engagés, quand il s'agit d'usage des

eaux, sont ordinairement des intérêts majeurs. Par exemple, un jaugeage inexact, indiquant à tort un trop faible volume d'eau dans une rivière, fera indûment rejeter un projet de canal qui aurait vivifié toute une contrée. On ne saurait donc trop désirer de voir répandre un peu de lumière sur un objet aussi important.

Les auteurs qui ont traité, tant du jaugeage des eaux courantes que de l'écoulement par des orifices, l'ont fait exclusivement au point de vue analytique. En ouvrant leurs ouvrages on n'y voit presque que des formules, ce qui laisse peu de place pour le raisonnement; de telle sorte que ces ouvrages sont inintelligibles pour quiconque n'est pas initié au langage et aux notations des mathématiques transcendantes. Je suis entré dans la voie opposée; et sauf ce qu'il était indispensable de dire sur les formules usuelles, pour montrer leurs avantages et leurs inconvénients, j'ai essayé d'aborder par le seul raisonnement, l'étude de ce sujet qui est regardé avec raison comme ce qu'il y a de plus difficile dans la matière des eaux.

En réunissant à des considérations élémentaires l'exposition de plusieurs méthodes, non connues en France, pour évaluer avec promptitude et précision le volume débité par des cours d'eau, de grande et de petite portée, je crois avoir rendu service à l'industrie des arrosages; et avoir été utile, non-seulement aux ingénieurs, mais aussi aux personnes qui, sans

posséder des connaissances très-approfondies en mathématiques, peuvent avoir besoin de se livrer à une opération de jaugeage.

En ce qui concerne l'étendue des livres V, VI, VII et VIII, je rappellerai ici que j'ai toujours eu l'intention de ne rien admettre dans cet ouvrage que d'entièrement spécial aux irrigations. Cela m'a permis d'exclure : du livre V, tout ce qui eût été relatif à la construction des canaux en général; du livre VI, tout ce qui serait étranger aux cultures irrigables et aux quantités d'eau qu'elles réclament; enfin, du livre VII, des considérations ou dispositions réglementaires, qui, bien qu'offrant un certain intérêt spécial, se rattachaient cependant davantage encore à la police générale des cours d'eau. J'ai pu agir ainsi sur ce dernier point avec d'autant plus de fondement, que j'ai déjà traité dans mon précédent ouvrage, qui est un code des établissements hydrauliques, une grande partie des questions qu'il serait inutile de reproduire ici, en ce qui touche les principes fondamentaux de la législation, les droits d'usage, les règlements d'eau, l'instruction des demandes, les contestations entre particuliers, etc.

LIVRE QUATRIÈME.

MESURE

ET

DISTRIBUTION

DES EAUX.

Digitized by Google

Digitized by Google

DES CANAUX
D'IRRIGATION.

PREMIÈRE PARTIE.

JAUGEAGES, OU MESURES APPROXIMATIVES DU VOLUME DES EAUX COURANTES.

CHAPITRE QUATORZIÈME.

CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES.—FORMULES ET APPLICATIONS.

§ I. *Considérations préliminaires.*

Faire le jaugeage d'une eau courante, c'est évaluer le nombre de mètres cubes ou de litres d'eau qu'elle débite par seconde ; de manière à connaître, aussi exactement que possible, quel est le volume disponible qui peut être utilisé dans des circonstances données.

Si l'eau qui coule, soit dans un lit ordinaire, soit dans un tuyau, se mouvait tout d'une pièce comme un piston dans un corps de pompe, ou comme la moelle que l'on chasse dans une branche de sureau, il n'y aurait pas d'opération plus simple que celle du jaugeage; car elle se réduirait à multiplier la section du liquide par sa vitesse; vitesse unique,

qu'il serait toujours facile de constater. Mais cela n'a pas lieu ainsi; et dans la réalité des choses il est peu d'opérations aussi compliquées, aussi difficiles à bien faire. Cette assertion pourrait paraître étrange à beaucoup de personnes, qui, habituées à envisager comme tout ce qu'il y a de plus simple et de plus naturel, le mouvement des eaux courantes, opéré journellement sous leurs yeux, auraient peine à se rendre compte qu'il y ait là un phénomène compliqué. Examinons cependant ce qui se passe.

Une masse de petits corps sphériques, indépendants les uns des autres, abandonnés sur une suite de plans inclinés, se succédant sans interruption, y prendraient un mouvement tendant à s'accélérer sans cesse; car telle est la conséquence du principe fondamental de la gravité. Cependant, cela n'a pas lieu ainsi pour une masse liquide, encore bien que ses molécules soient douées en apparence d'une mobilité parfaite. L'expérience prouve que les eaux naturelles provenant soit des pluies, soit de la fonte des neiges, quoique coulant effectivement sur une suite de surfaces inclinées, au lieu d'y acquérir une vitesse accélérée, prennent au contraire, à quelques légères variations près, un mouvement uniforme et réglé qui, dans les différents états d'un cours d'eau, caractérise ce que l'on a appelé son *régime*.

Quelles sont donc les causes d'après lesquelles

un mouvement qui de sa nature devrait être accéléré, se trouve ainsi transformé en un mouvement uniforme ? Elles ne peuvent résulter que de certaines résistances qui sont de nature à faire équilibre à la force accélératrice de la pesanteur.

Ces résistances sont de deux espèces : 1° L'une provient de l'affinité des molécules liquides les unes pour les autres, d'une sorte de viscosité qui les empêche de se désunir, comme feraient, par exemple, des grains de millet ; 2° l'autre résistance est produite par le frottement que l'eau courante éprouve contre les parois du lit qui la renferme ; et celle-ci peut varier considérablement, suivant que le lit est plus ou moins pourvu d'aspérités, de pierres, de broussailles, d'herbages, ou autres obstacles de la même nature ; suivant que sa direction est plus ou moins rectiligne ou plus ou moins sinueuse. En un mot, les résistances qui rentrent dans cette seconde catégorie sont celles qui modifient presque à elles seules le mouvement des eaux courantes.

Il résulte de là que la masse liquide, loin d'avoir un seul et même mouvement, présente en quelque sorte autant de vitesses distinctes qu'on pourrait imaginer de filets d'eau différents. Ceux qui se trouvent immédiatement en contact avec les parois solides du lit ou du tuyau, y perdent une très-grande partie de leur vitesse naturelle, tandis que

ceux qui en sont les plus éloignés doivent éprouver bien moins de résistance.

C'est exactement ce qui se vérifie dans la pratique, puisqu'il est parfaitement constaté que dans un tuyau la vitesse de l'eau décroît graduellement depuis le centre jusqu'à la circonférence; tandis que dans un lit ordinaire, qui représente une des moitiés d'un tuyau, qu'on aurait partagé suivant son axe, cette vitesse maximum, qui constitue ce que l'on a appelé le fil de l'eau, se trouve effectivement à la même place, c'est-à-dire à la surface même du courant, où elle correspond presque toujours à sa plus grande profondeur, autrement dit à son thalweg.

Ces préliminaires doivent suffire pour faire concevoir le but et les difficultés d'une opération de jaugeage; car, de ce qu'il existe toujours dans une même masse d'eau en mouvement plusieurs vitesses différentes, on doit d'abord en conclure que, quand il s'agit de calculer son volume, on ne doit employer ni la plus forte ni la plus faible; mais un terme moyen entre l'une et l'autre. Or, cette quantité intermédiaire, sur la recherche de laquelle repose toute la solution du problème des jaugeages, est-elle simplement une moyenne arithmétique entre les deux vitesses extrêmes, dont l'une est la vitesse maximum qui s'observe à la surface, et l'autre la vitesse de fond; ou bien doit-elle se calculer d'après l'observation d'un certain nombre de vitesses, prises en divers points du lit?

Rien de bien fixe n'existe à cet égard; et tout ce que l'on peut répondre de certain, c'est que la véritable vitesse moyenne d'un cours d'eau, en un point donné, est celle qui, multipliée par la section, donne pour produit son débit réel. Mais comme de ces trois choses : la section, la vitesse et le débit d'un cours d'eau, la troisième est presque toujours, dans la pratique, celle que l'on cherche à connaître, au moyen des deux autres, la seule manière de résoudre cette difficulté consistait donc à tâcher de réduire en préceptes les résultats d'un certain nombre d'expériences comparatives, faites dans le but de découvrir, au moins approximativement, les relations qui peuvent exister entre la section, la pente et la vitesse moyenne. Tel est le but des formules de jaugeage.

§ II. *Premières formules.*

C'est une science encore récente que celle qui conduit à connaître les relations existant entre la section, la pente et la vitesse moyenne d'un cours d'eau. On avait étudié d'abord l'écoulement des liquides à travers des orifices, et il y a deux cents ans que Torricelli découvrit le principe théorique d'après lequel la vitesse de cet écoulement augmente en raison de la profondeur de l'orifice au-dessous du niveau du réservoir. Pendant longtemps on avait cru, en Italie comme ailleurs, que les choses de-

vaient se passer ainsi dans le mouvement des eaux courantes, et que les couches inférieures étant soumises à une plus grande pression devaient avoir plus de vitesse que les couches superficielles. Mais cette opinion était tout à fait inexacte.

C'est seulement vers la fin du siècle dernier que les ingénieurs français Dubuat, Chezy, Girard et Prony, le premier officier du génie militaire; les trois autres membres du corps des ponts et chaussées, se livrèrent successivement à des recherches et à des expériences qui conduisirent à des résultats dignes d'attention, sur le mouvement de l'eau courante dans les canaux et les rivières. Ils s'aperçurent bientôt que la théorie seule, déjà très-insuffisante d'ailleurs, sur la question des résistances, ne pourrait jamais conduire à une solution quelconque. Ils prirent donc le parti de se livrer à des observations directes sur un certain nombre de cours d'eau; puis de composer des formules capables de représenter, très-approximativement, les résultats de ces expériences, afin de généraliser autant que possible les relations trouvées entre la section, la pente et la vitesse moyenne, et de faire connaître la loi des résistances qui modèrent la marche des eaux courantes, de manière à réduire à l'état d'uniformité un mouvement qui, de sa nature, tendrait à s'accélérer indéfiniment.

C'est ainsi que procédèrent les premiers astronomes, en commençant par dresser, à l'aide d'une

longue série d'observations préalables, des tables indicatives du mouvement des corps célestes ; car c'est au moyen de ces précieux recueils que les Kepler et les Newton nous firent ensuite connaître les lois physiques qui président au système du monde.

La circulation des eaux courantes, surtout dans des lits naturels, plus ou moins accidentés, ne se prêtait pas, à beaucoup près, à des appréciations mathématiques aussi précises que celles que l'on a pu faire des mouvements astronomiques; aussi tandis que leurs lois ont été formulées avec une justesse et une précision telles qu'on explique complétement les grands phénomènes qui semblaient devoir rester pour jamais hors de notre portée, la simple étude de la quantité d'eau que débite une rivière est demeurée dans un état imparfait. Car on peut dire que les formules les plus complètes que l'on pourra donner sur cet objet laisseront toujours beaucoup à désirer, pour la généralité de leurs applications.

Les premières formules adoptées par les savants dont je viens de parler ont établi des relations déjà précises entre la section, la pente et les diverses vitesses d'une eau courante; elles ont fourni de plus, une détermination ingénieuse de la résistance totale à laquelle est due l'uniformité du mouvement des rivières.

Cette expression est composée de deux termes

variables, proportionnels, l'un à la vitesse, l'autre au carré de cette même vitesse. Et, en effet, le mouvement de l'eau qui coule sur un lit incliné est d'abord retardé par la cohésion propre des molécules, force que l'on peut supposer proportionnelle à la vitesse qui tendrait à les désunir. Mais quant à la seconde cause de résistance, à celle qui résulte de l'action de la surface solide du lit sur la masse du liquide, soit qu'on l'assimile à un simple frottement, soit qu'on l'envisage comme résultant des chocs successifs que l'eau éprouve contre une suite d'aspérités, il résulte des recherches de Coulomb, qu'une telle résistance est toujours proportionnelle au carré de la vitesse.

La formule de Prony, qui est déjà un perfectionnement de celles qu'avaient données Dubuat et Girard, est présentée sous cette forme:

$$U = -0{,}07 + \sqrt{(0{,}0005 + 3233\ R.\ I)}$$

U représente la vitesse moyenne, I la pente par mètre, et R le rapport de la section au périmètre mouillé : c'est ce rapport que Dubuat avait désigné sous le nom de *rayon moyen*, expression détournée dont on ne voit pas l'utilité.

Prony a donné plusieurs autres formules représentant le rapport qui existe entre la vitesse à la surface et la vitesse moyenne, dans les canaux et rivières. Il en a déduit, à l'aide d'un assez grand nombre d'expériences des tableaux montrant que

la valeur de ce rapport s'écartait peu de 0,8 ou de $\frac{4}{5}$. De sorte que l'on pourrait considérer d'après cela que dans le plus grand nombre de cas la vitesse moyenne, si difficile à observer, peut s'obtenir d'une manière au moins très-approximative en prenant simplement les 0,8 de la vitesse à la surface. Mais ceci ne peut être regardé comme un principe démontré; et ainsi que le remarque d'Aubuisson, on est loin d'avoir une telle connaissance; puisque l'on n'a pas même encore celle du rapport qui peut exister entre ces deux vitesses, pour une même perpendiculaire.

Néanmoins beaucoup d'ingénieurs, et je suis du nombre, ont été à même de reconnaître que la justesse de ce rapport moyen se vérifie fréquemment dans la pratique. J'en cite à la fin du chapitre suivant un exemple remarquable.

Les premières formules de jaugeage n'étant pas basées sur un assez grand nombre d'expériences n'offraient pas les garanties désirables, et ont fait commettre beaucoup d'erreurs à ceux qui ont cru pouvoir se fier aux résultats qu'elles donnaient, en dehors du petit cercle d'observations sur lesquelles elles étaient basées. Aussi elles ont été successivement critiquées et démontrées inexactes.

Prony, dans ses *Recherches Physico-Mathématiques*, n° 134, reproche à la formule de Dubuat d'être compliquée, et surtout d'être affectée d'une quantité logarithmique qui semble y avoir été in-

troduite plutôt par la nécessité de satisfaire à des nombres donnés que par des considérations immédiates sur la nature des phénomènes. — *Ibid.*, n° 206, le même ingénieur dit, en parlant des formules qui doivent représenter le mouvement des eaux, tant dans les tuyaux de conduite que dans les canaux découverts : « Ces rapprochements portent sur des phénomènes hypothétiques qui sont censés avoir lieu, dans de très-petites vitesses, et qui fournissent des conclusions affectées des erreurs possibles des principes systématiques par lesquels on explique la résistance. » — Il dit plus loin, n° 170, qu'il faut chercher à faire une juste répartition des anomalies; et elles varieraient, selon lui, n° 170, de 0,08 à 0,29 dans la formule de Dubuat, et de 0,16 à 0,18 dans celle de Girard.

Mais Prony lui-même donne lieu, dans ses propres calculs, à des observations analogues. Ainsi il indique dans son *Mémoire sur les jaugeages*, page 7, une expression de la vitesse dans laquelle il dit qu'il faut négliger un terme, pour en mettre les résultats d'accord avec ceux de l'expérience. Dans le n° 192 de ses Recherches, en traitant de la relation qui existe entre les différentes vitesses, il arrive à une certaine formule qu'il reconnaît être « en pleine contradiction avec les phénomènes observés, tant sur la vitesse que sur la résistance due au frottement et à la cohésion; car si l'on admettait les valeurs qu'elle donne, on serait forcé d'en con-

clure que dans certains cas la vitesse peut décroître du fond à la surface. »

On pourrait trouver à faire encore d'autres citations analogues dans les différents écrits publiés par le savant Prony, sur les questions relatives aux eaux courantes. Or, dès que quelque chose pèche dans une théorie où tout s'enchaîne, on est bien en droit de concevoir des doutes sur l'ensemble du système. C'est précisément ce qui est arrivé, et ce qui a donné lieu de reconnaître que les formules de Dubuat, Girard et Prony, basées sur un trop petit nombre d'expériences, faites exclusivement sur des canaux réguliers, tout en étant présentées sous une forme bien en rapport avec les conditions théoriques de l'écoulement, n'avaient qu'une utilité pratique très-restreinte, attendu que leurs coefficients se trouvaient inexacts dès qu'on voulait généraliser un peu l'emploi desdites formules.

Je ne suis pas le seul ingénieur qui ait remarqué les imperfections inhérentes à toutes les formules de jaugeage. Voici comment s'exprime à ce sujet M. l'inspecteur Minard, dans son ouvrage sur la navigation des canaux et rivières publié en 1841 :

« Dans ces formules, les coefficients de résistance sont supposés avoir les mêmes valeurs que dans le mouvement uniforme; lesquelles valeurs ont été déduites d'expériences faites sur des cours d'eau à lits réguliers, ou presque réguliers. Mais la résistance, ou pour mieux dire les causes retarda-

trices, augmentent avec l'irrégularité du lit. Dans ce cas, il y a des remous, des tournoiements, des contre-courants qui n'existent pas dans le mouvement uniforme, et qui absorbent une certaine quantité d'action. Dès lors, les coefficients ordinaires cessent d'êtres applicables aux lits réguliers. C'est pour cela qu'en général, si on regarde la vitesse comme inconnue, on trouve par les formules une valeur plus grande que celle de l'expérience.

» La formule du mouvement uniforme, quoique dans plusieurs cas d'accord avec l'expérience, est cependant d'une application difficile par les raisons suivantes : 1° Cette formule, comme toutes les autres, suppose le produit constant; or, une rivière n'est presque jamais dans cet état; elle est en crue ou en baisse; ce qui modifie les éléments du calcul. Ainsi, le produit de la Moselle, qui est de 18 mètres à l'étiage, à son entrée dans le département de ce nom, de 20^{m},40 au-dessous de Metz, et de 24^{m},50 à la frontière, devient à peu près quatre fois plus grand à chacun de ces points, quand la rivière a monté seulement de 0^{m},50 au-dessus de l'étiage. En supposant l'accroissement proportionnel à l'exhaussement, le produit augmenterait ou diminuerait de 0,04 à chaque 0^{m},05 de crue ou de baisse. Or, les observations journalières de 1834 apprennent que pendant les deux tiers de cette année la Moselle a varié de 0^{m},05 au moins par jour, et l'on n'aurait pu appliquer la formule du

mouvement uniforme que du 15 au 27 juillet, et du 20 septembre au 20 octobre; époques auxquelles la rivière était à l'étiage.

» 2° Cette formule contient deux éléments bien délicats à établir; à savoir, la pente et le périmètre mouillé. Lorsque la pente d'une rivière varie, elle ne peut être appréciée pour chaque section que sur une petite longueur. Et en effet, l'uniformité de pente sur une grande longueur supposerait aussi une grande régularité sur cette même longueur. Si l'on obtient la pente par deux coups de niveau, elle peut être affectée de l'erreur possible dans cette opération; erreur à laquelle s'ajoutera peut-être celle que l'on fait dans la détermination de la surface de l'eau. Il est donc très-possible de commettre une erreur totale de 4 ou 5 millimètres dans un nivellement de 100 mètres de longueur; erreur qui aura d'autant plus d'influence que la pente de la rivière sera plus faible. Et d'ailleurs, on détermine la pente sur les bords, tandis que c'est au milieu qu'il serait plus rationnel d'aller la chercher.

» Par exemple, sur la Marne, en admettant une erreur de $0^m,006$ sur 100 mètres de longueur dans le nivellement, selon qu'elle est commise dans le sens de la pente de la rivière ou dans le sens contraire, le produit donné par la formule augmente d'un quart ou diminue d'un tiers.

» L'autre élément, non moins difficile à déterminer, est le périmètre mouillé. Jusqu'à quel point

doit-on prendre le contour des aspérités du fond, celui des pierres, etc.? »

A cette citation des opinions du savant ingénieur qui a professé pendant plusieurs années le cours de navigation intérieure à l'école des ponts et chaussées, j'ajouterai encore quelques réflexions dans le même sens. Et d'abord, je ferai remarquer que la plupart des expériences qui ont servi à établir les anciennes formules de Dubuat, Girard et Prony, ont eu lieu sur des canaux artificiels; de sorte que pour pouvoir les appliquer, dans des circonstances comparables, à l'évaluation de la vitesse d'une rivière, il faut nécessairement qu'une portion considérable de celle-ci soit assez régulière pour pouvoir être assimilée à un canal fait de main d'homme.

Dans son *Traité d'hydraulique*, M. d'Aubuisson estime que cette régularité du lit devrait exister sur 1000 mètres au moins, en présentant de plus une pente assez uniforme pour qu'on pût admettre une section moyenne; il ajoute qu'au-dessus et au-dessous d'une telle longueur, le mouvement ne doit éprouver aucune perturbation notable. On voit dès lors combien il est rare que l'on puisse opérer dans de telles circonstances.

Cependant les jeunes ingénieurs, et d'autres personnes peu expérimentées dans l'hydraulique, se persuadent assez souvent que du moment où il existe des formules pour cet objet, on peut les employer

comme infaillibles dans tous les cas particuliers.

La seule présence des herbes aquatiques, qui croissent abondamment dans le lit des canaux et de certaines rivières, suffit pour y exercer, sur les différentes vitesses de l'eau, une influence perturbatrice, et les formules ne sont jamais applicables dans ce cas. Les broussailles qui existent souvent sur les rives et plongent en partie dans l'eau, peuvent produire à peu près le même effet.

Si le cours d'une rivière, au lieu d'être entièrement libre comme le supposent les susdites formules, est modifié par des ouvrages d'art, tels que barrages, pertuis, usines, il ne faut plus penser à recourir à leur application.

A une époque où je faisais beaucoup d'opérations sur les cours d'eau, j'ai été à même de remarquer, par exemple, que les relations admises entre la vitesse moyenne et la vitesse à la surface pouvaient être totalement interverties par les raisons suivantes : 1° Si l'on observe la marche de l'eau en amont d'un barrage, dans lequel il s'opère un certain écoulement au moyen d'un pertuis ou déchargeoir de fond, il arrive que, même à une très-grande distance, aux approches de ce barrage, les vitesses intérieures des filets d'eau correspondant à l'orifice ouvert surpassent la vitesse superficielle observée dans le fil de l'eau, là où dans l'état normal on devrait la trouver à son maximum ; 2° si l'écoulement de part et d'autre du barrage s'opère par

le moyen d'un déversoir, alors les vitesses superficielles se trouvent augmentées dans une proportion plus ou moins forte; tandis que les vitesses intérieures se trouvent au contraire diminuées. De là encore proviennent, dans la valeur respective des vitesses, des modifications très-grandes, ne résultant plus de l'influence naturelle de la pente et du volume d'eau. Dès lors ces vitesses n'ont plus aucun rapport avec celles qui sont envisagées dans les formules.

Cependant il n'est pas rare de voir donner, même par des ingénieurs, comme résultat valable desdites formules, le fruit d'observations ainsi faites aux abords des barrages, martellières, etc.

Enfin, les uns continuent de se servir, dans les opérations de jaugeage, de la formule de Prony; tandis que d'autres emploient pour le même objet la formule d'Eytelwein, qui offre beaucoup plus de garanties. Or il suffit de jeter les yeux sur ces deux expressions pour reconnaître qu'ayant identique la même forme, mais des coefficients très-différents, elles ne peuvent jamais être exactes en même temps.

Faudrait-il conclure de ces objections que l'on doive renoncer à l'emploi des formules de cette espèce, comme n'étant pas suffisamment exactes? Non sans doute; car le temps des ingénieurs, chargés de l'étude ou de la direction de grands travaux hydrauliques, est assez précieux pour qu'il y ait un

grand avantage à recourir à leur usage, lors même que l'on devrait se résoudre à n'y chercher que des approximations. La formule à l'examen de laquelle est consacré le paragraphe suivant, est d'ailleurs beaucoup plus satisfaisante que toutes celles qui l'ont précédée.

§ III. *Formule d'Eytelwein.*

Cette formule, publiée pour la première fois en France, en 1815, dans les Mémoires de l'Académie de Berlin, est présentée sous la forme suivante :

$$(A)\ldots\ u = -0{,}00338375\, g + \sqrt{(0{,}00001145\, g^2 + 278{,}899\, D\, g \cos.\varphi)}.$$

u représente la vitesse moyenne cherchée, D le rapport que l'on obtient en divisant la section du cours d'eau par son périmètre mouillé ; et enfin cos. φ, le cosinus de l'angle formé par l'inclinaison du lit avec la verticale. Ce cosinus qui se calcule en divisant la pente totale entre deux points du courant par la distance qui les sépare, n'est autre chose que la pente par mètre, ou plus généralement, si l'on veut, il représente la pente sur l'unité de longueur.

En prenant le mètre pour unité, on aura $g = 9^m{,}8088$ et la formule générale devient

$$(B)\ \ldots\ u = -0{,}03319 + \sqrt{(0{,}0011 + 2735{,}66\, D \cos.\varphi)}$$

qui donne, en mètres par seconde, la vitesse moyenne que l'on veut obtenir.

On voit surtout par cette dernière expression que la formule nouvelle a conservé la même disposition que celle de Prony, mais avec des coefficients très-différents.

La formule (A) peut-être mise aussi sous cette forme :

$$D \cos. \varphi = 0{,}00717 \frac{u^2}{2g} + 0{,}000024\, u$$

ou sous celle-ci :

$$\text{(C)} \ldots \cos. \varphi = 0{,}00717 \frac{u^2}{2gD} + 0{,}000024 \frac{u}{D}$$

D'après cela, comme cos. φ qui représente la pente par mètre, peut être regardé comme la mesure de la force accélératrice à laquelle la résistance totale provenant du lit et de la cohésion du liquide doit faire équilibre, on retrouve exactement ici la loi déjà établie pour cette résistance dans les anciennes formules de Girard et de Prony ; et l'on voit qu'elle a bien pour expression deux termes porportionnels, l'un à la vitesse, l'autre au carré de cette vitesse. Ces deux termes croissent d'ailleurs en raison inverse du rapport D qui s'y trouve en dénominateur ; de sorte que, toutes choses égales d'ailleurs, la résistance du lit est d'autant moins sensible que la section est plus grande, et

qu'elle est au contraire d'autant plus forte que le périmètre a plus de développement; ce qui est exactement vrai.

La formule de Prony déjà plus précise que celles de Dubuat et de Girard n'était appuyée que de 31 expériences, et portait généralement sur de petits cours d'eau dont la section maximum ne dépassait pas 29 mètres carrés; de sorte que l'on ne pouvait l'appliquer, sans crainte d'erreurs, au jaugeage des grandes rivières.

La formule d'Eytelwein est basée sur plus de cent expériences dont les principales furent faites en Allemagne par les ingénieurs Brünings, Funck et Woltmann, sur le Rhin et sur le Weser, ainsi que sur divers canaux. Elle cadre également avec plusieurs des expériences anciennes de Dubuat, et avec les expériences récentes qui furent faites en Italie sur de très-petites, comme sur de très-grandes sections, allant depuis $0^m,15$ jusqu'à plus de 3.000 mètres carrés.

Les pentes y ont varié depuis $0^m,00003$ jusqu'à $0^m,01$ par mètre, et les vitesses depuis $0^m,12$ jusqu'à $2^m,40$ par seconde.

Cette formule est donc à la fois la plus simple et la plus complète que l'on connaisse aujourd'hui; elle est par conséquent la seule que l'on doive employer dans la pratique. C'est pour cette raison que je donne ici une table, qui sert à en faciliter les applications.

TABLE

calculée pour donner, d'après la formule d'Eytelwein, la vitesse moyenne d'un courant dont on connaît la pente et la section.

NOTA.—Les nombres compris dans les deuxièmes colonnes, donnant la valeur du produit D cos φ, expriment des dix-millionièmes de mètre.

VITESSE moyenne = u.	D cos. φ.	VITESSE moyenne = u.	D cos. φ.	VITESSE moyenne = u.	D cos. φ.	VITESSE moyenne = u.	D cos. φ.
0,01	3	0,38	620	0,75	2238	1,12	4857
0,02	6	0,39	651	0,76	2296	1,13	4942
0,03	11	0,40	682	0,77	2354	1,14	5027
0,04	16	0,41	714	0,78	2413	1,15	5113
0,05	21	0,42	747	0,79	2473	1,16	5200
0,06	28	0,43	780	0,80	2534	1,17	5288
0,07	35	0,44	814	0,81	2595	1,18	5376
0,08	43	0,45	849	0,82	2657	1,19	5465
0,09	51	0,46	885	0,83	2720	1,20	5555
0,10	60	0,47	922	0,84	2783	1,21	5646
0,11	71	0,48	959	0,85	2847	1,22	5737
0,12	82	0,49	997	0,86	2912	1,23	5829
0,13	93	0,50	1035	0,87	2978	1,24	5921
0,14	106	0,51	1075	0,88	3044	1,25	6015
0,15	119	0,52	1115	0,89	3111	1,26	6109
0,16	132	0,53	1155	0,90	3179	1,27	6205
0,17	147	0,54	1197	0,91	3248	1,28	6300
0,18	162	0,55	1239	0,92	3317	1,29	6396
0,19	178	0,56	1282	0,93	3387	1,30	6493
0,20	195	0,57	1326	0,94	3458	1,31	6591
0,21	212	0,58	1370	0,95	3530	1,32	6690
0,22	230	0,59	1416	0,96	3602	1,33	6789
0,23	249	0,60	1461	0,97	3675	1,34	6889
0,24	269	0,61	1508	0,98	3749	1,35	6990
0,25	289	0,62	1556	0,99	3823	1,36	7091
0,26	310	0,63	1604	1,00	3898	1,37	7193
0,27	332	0,64	1653	1,01	3974	1,38	7296
0,28	354	0,65	1702	1,02	4051	1,39	7400
0,29	378	0,66	1753	1,03	4128	1,40	7504
0,30	402	0,67	1803	1,04	4206	1,41	7609
0,31	426	0,68	1855	1,05	4286	1,42	7715
0,32	452	0,69	1908	1,06	4364	1,43	7822
0,33	478	0,70	1961	1,07	4445	1,44	7929
0,34	505	0,71	2015	1,08	4526	1,45	8037
0,35	533	0,72	2070	1,09	4607	1,46	8146
0,36	561	0,73	2125	1,10	4690	1,47	8258
0,37	590	0,74	2181	1,11	4773	1,48	8366

VITESSE moyenne = u.	D cos. φ.	VITESSE moyenne = u.	D cos. φ.	VITESSE moyenne = u.	D cos. φ.	VITESSE moyenne = u.	D cos. φ.
1,49	8477	1,87	13237	2,25	19052	2,63	25922
1,50	8589	1,88	13376	2,26	19218	2,64	26118
1,51	8701	1,89	13516	2,27	19387	2,65	26313
1,52	8814	1,90	13657	2,28	19555	2,66	26509
1,53	8928	1,91	13798	2,29	19725	2,67	26707
1,54	9043	1,92	13941	2,30	19895	2,68	26905
1,55	9158	1,93	14084	2,31	20067	2,69	27104
1,56	9274	1,94	14228	2,32	20238	2,70	27303
1,57	9391	1,95	14373	2,33	20410	2,71	27504
1,58	9509	1,96	14519	2,34	20584	2,72	27704
1,59	9627	1,97	14664	2,35	20757	2,73	27906
1,60	9746	1,98	14811	2,36	20932	2,74	28108
1,61	9866	1,99	14959	2,37	21107	2,75	28311
1,62	9986	2,00	15107	2,38	21284	2,76	28515
1,63	10108	2,01	15257	2,39	21460	2,77	28720
1,64	10230	2,02	15405	2,40	21637	2,78	28925
1,65	10352	2,03	15556	2,41	21816	2,79	29131
1,66	10476	2,04	15707	2,42	21995	2,80	29338
1,67	10599	2,05	15859	2,43	22175	2,81	29545
1,68	10725	2,06	16012	2,44	22355	2,82	29754
1,69	10850	2,07	16165	2,45	22536	2,83	29963
1,70	10977	2,08	16320	2,46	22718	2,84	30172
1,71	11104	2,09	16474	2,47	22900	2,85	30383
1,72	11231	2,10	16630	2,48	23084	2,86	30594
1,73	11360	2,11	16786	2,49	23268	2,87	30806
1,74	11489	2,12	16943	2,50	23453	2,88	31018
1,75	11620	2,13	17101	2,51	23638	2,89	31232
1,76	11750	2,14	17257	2,52	23824	2,90	31446
1,77	11881	2,15	17419	2,53	24012	2,91	31661
1,78	12014	2,16	17579	2,54	24199	2,92	31876
1,79	12146	2,17	17740	2,55	24388	2,93	32092
1,80	12281	2,18	17901	2,56	24577	2,94	32309
1,81	12414	2,19	18063	2,57	24768	2,95	32527
1,82	12551	2,20	18226	2,58	24958	2,96	32745
1,83	12686	2,21	18389	2,59	25149	2,97	32965
1,84	12822	2,22	18554	2,60	25340	2,98	33185
1,85	12960	2,23	18719	2,61	25534	2,99	33405
1,86	13097	2,24	18885	2,62	25728	3,00	33627

§ IV. *Applications.*

Premier problème. — *Étant données la portee d'un canal, la pente et la hauteur de l'eau qui*

doit y être contenue, déterminer la largeur uniforme à donner à sa section. — Ce problème est des plus intéressants, et se présente très-fréquemment dans la pratique, en ce qui concerne l'ouverture de toutes les espèces de canaux; et dans cette voie l'on ne peut marcher au hasard sans s'exposer à des erreurs très-regrettables, par l'adoption soit d'une largeur trop grande, entraînant en pure perte des dépenses toujours élevées, soit d'une largeur insuffisante qui aurait l'inconvénient plus grand encore de constituer un ouvrage incapable de remplir sa destination.

Voici un cas de cette espèce qui s'est présenté dans l'ouverture des canaux d'écoulement des Marais Pontins : Volume d'eau à débiter par seconde, $7^m,968$; pente par kilom., $0^m,10$, ou par mètre, $0^m,0001$; hauteur maximum de l'eau dans le canal d'écoulement, pour se trouver en contre-bas du niveau des terres à dessécher, $1^m,787$.

Soit Q la portée d'eau, cos. φ l'expression de la pente et h la hauteur ou profondeur, qui sont les données du problème, et x la largeur du canal qui en est l'inconnue. On aura pour le rapport de la section au périmètre $D = \frac{hx}{x+2h}$, et pour la vitesse moyenne $u = \frac{Q}{hx}$. Si l'on substitue ces expressions dans la formule du mouvement uniforme $D \cos. \varphi = 0{,}00717 \frac{u^2}{2g} + 0{,}000024\, u$, et si

l'on assigne leurs valeurs numériques aux quantités connues $Q = 7,968$; $\cos.\varphi = 0,0001$, $h = 1^m,787$, on aura, pour déterminer x, l'équation numérique du 3e degré

$$(D) \ldots x^3 - 0,598\,x^2 - 42,792\,x - 145,303 = 0.$$

De laquelle on déduit, par approximation, la largeur cherchée qui est $x = 8,10$.

On peut arriver au même but, avec plus de facilité, au moyen de la table; car, au lieu d'employer l'équation du 3e degré qui précède, on peut se servir également de celle-ci :

$$(E) \ldots u - Q\,\frac{h - D}{2\,D\,h^2} = 0.$$

Si dans cette dernière on introduit, d'après une règle connue, deux valeurs différentes de D, comme on connaît $\cos.\varphi$, la table susdite donnera de suite des valeurs correspondantes de u, pour chacune desquelles on cherchera à satisfaire à l'équation précédente; et en rectifiant l'erreur de proche en proche, on arrivera bientôt à la véritable expression du rapport dont il s'agit, et par suite à la valeur de x qui est, d'après les formules ci-dessus, $x = \frac{2\,D\,h}{h - D}$.

Ainsi, par exemple, dans l'espèce qui nous occupe, si l'on fait successivement $D = 1$ et $D = 1,5$, on a pour les valeurs correspondantes de $D \cos.\varphi$,

en dix millionièmes de mètre, 1000 et 1500; d'après quoi la table donne les deux valeurs suivantes: $u = 0,49$ et $u = 0,61$. Ces deux systèmes de données, introduits dans le premier membre de l'équation (E) qui doit être égal à zéro, donnent :

$$1^\circ \ldots\ u - Q\frac{h-D}{2Dh^2} = -0,49 \quad 2^\circ \ldots\ u - Q\frac{h-D}{2Dh^2} = 0,37$$

ce qui prouve que la valeur de D est bien effectivement comprise entre les limites 1 et 1,5. Si, d'après la même méthode, on substitue d'autres valeurs plus rapprochées, on arrive promptement à la véritable expression qui est $D = 1,24$, à laquelle correspond, comme d'après la formule (D), $x = 8,1$.

Deuxième problème. — *Étant données les sections et les pentes de deux rivières, trouver l'exhaussement de niveau qu'éprouvera l'une d'elles en recevant l'autre comme affluent.*— Pendant longtemps on a cherché la solution de ce problème en Italie, et il a donné lieu, entre les hydrauliciens de ce pays, à de très-vives discussions. Il s'agissait principalement de savoir quel exhaussement prendrait le niveau du bras principal du Pô, qui coule au nord de Ferrare par l'immission du Reno, torrent du Bolognais, envisagés l'un et l'autre en temps de crue.

Selon les mesures relatées par Manfredi, la largeur du Reno est de $52^m,74$, et la hauteur de l'eau

de $4^m,17$. La largeur du Pô à Lagoscuro est de $288^m,37$, et sa hauteur en grandes eaux est de $11^m,38$. D'après les pentes mesurées dans diverses opérations, on a pour le Reno, $\cos.\varphi = 0,0002458$, et pour le Pô, $\cos.\varphi = 0,0000996$.

A la rigueur, il faudrait mesurer exactement le périmètre des sections pour en déduire le rapport D; mais comme dans les fleuves ou rivières d'une grande largeur le périmètre mouillé est à très-peu près égal à la largeur, plus le double de la profondeur, on peut considérer ici les périmètres comme étant pour le Reno de $61^m,08$, et pour le Pô de $311^m,13$; de sorte que l'on a pour le Reno $D = 3,601$, et pour le Pô, $D = 10,547$, ou enfin

Pour le Reno	$D \cos.\varphi = 0,0008851$
Pour le Pô	$D \cos.\varphi = 0,0010505$.

D'après ces données, on trouve, au moyen de la table précédente, que la vitesse moyenne et les portées correspondantes sont :

Pour le Reno	$u = 1^m,52$	$Q = 334^{m.c.},28$
Pour le Pô	$u = 1^m,66$	$Q = 5454^{m.c.},10$.

Le rapport entre les volumes des hauteurs du Reno et de celles du Pô, est donc sensiblement de 1 à 16,32; et la portée d'eau du Pô, accrue de celle du Reno, sera de $5788^m,38$.

Pour trouver maintenant la hauteur y que représentera cette portée d'eau dans le lit du Pô, il

faut, d'après Venturoli (*Eléments de mécanique*, tome II, art. 329), résoudre l'équation du 3e degré que voici :

$$0{,}00717\frac{Q^2}{2g} + 0{,}000024\,Q\,ly = \frac{l^3y^3\cos.\varphi}{1+2y}$$

On a

$$Q = 5788{,}38 \qquad l = 288{,}37 \qquad \cos.\varphi = 0{,}0000996.$$

Et alors l'équation réduite en nombres avec ces données devient :

$$y^3 - 0{,}0335\,y^2 - 15{,}047\,y - 1473{,}4 = 0$$

d'où l'on tire :

$$y = 11{,}83.$$

Comme la hauteur d'eau primitive du Pô était de $11^m{,}38$, on voit que l'exhaussement cherché serait de $0^m{,}45$.

CHAPITRE QUINZIÈME.

MÉTHODES DIRECTES DE JAUGEAGE.

§ I. *Observations préliminaires.*

Si ce n'était pas une opération presque toujours longue et coûteuse que de mesurer directement soit le volume, soit même la vitesse moyenne d'un courant d'eau, il vaudrait infiniment mieux procéder ainsi que de recourir à des formules, sur l'exactitude desquelles il est toujours permis d'élever quelques doutes.

Le moyen le plus simple et le plus sûr pour mesurer la vitesse superficielle d'une eau courante consiste à se servir d'un flotteur simple. Ce n'est autre chose qu'un corps d'une pesanteur spécifique un peu moindre que celle de l'eau, qu'on abandonne à la libre impulsion de son courant. Tels sont, par exemple, de petits cubes de bois ou de liége, ou même des sphères creuses en métal que l'on leste avec de la grenaille de plomb. Je dis qu'il faut que le flotteur soit seulement un peu moins pesant qu'un égal volume d'eau ; en effet, il est nécessaire qu'il s'enfonce sensiblement jusqu'à sa surface, afin d'accuser exactement la même vitesse que celle du fluide. Un corps flottant qui, comme un bateau, s'élève d'une quantité notable au-dessus de cette surface,

tend toujours à prendre, surtout pour les fortes pentes, une vitesse accélérée plus grande que celle du courant ; en outre, sa marche pourrait être fortement influencée par l'action du vent. Il est vrai qu'en pareil cas cette action s'exerce aussi d'une manière nuisible sur la surface de l'eau elle-même ; de sorte qu'on doit toujours chercher à s'en prémunir, en ne choisissant que des journées très-calmes pour procéder aux opérations de jaugeage. On compte le nombre de secondes employées par le flotteur pour parcourir une certaine distance exactement mesurée, et en divisant le nombre de mètres par le nombre de secondes, on a exactement la vitesse superficielle du courant d'eau qui a été observé. La vitesse maximum, qui est ordinairement celle que l'on cherche à connaître, peut toujours se déduire d'un petit nombre d'observations semblables. Une remarque essentielle à faire sur les flotteurs, c'est qu'il faut qu'ils soient abandonnés au courant un peu en amont du point d'où l'on commence à compter le nombre de secondes, afin qu'en y arrivant ils aient déjà acquis la vitesse réelle du fluide. Telles sont les dispositions à observer dans l'emploi des flotteurs simples. En ce qui concerne celui des flotteurs composés, on trouve les détails nécessaires dans les §§ 2 et 3 du présent chapitre.

On a inventé beaucoup d'autres moyens de mesurer soit la vitesse superficielle, soit la vitesse inté-

rieure d'un courant d'eau. Les nombreux écrits publiés sur l'hydraulique en Italie, dans le courant du XVIIe siècle, font mention de plusieurs appareils destinés à cet usage. Venturoli a donné la description du *pendule hydrométrique*, que l'on établit sur le courant dont on veut avoir la vitesse, et qui, d'après une certaine règle, doit donner cette vitesse en raison de l'inclinaison plus ou moins grande que prend le fil de suspension de la petite boule pesante qui reçoit l'impulsion de l'eau. Dubuat s'est servi dans ses expériences du *volant à aubes*, petite roue très-légère à 8 aubes, tournant sur des tourillons en fer, et que l'on faisait plonger légèrement dans l'eau.

Un moyen ingénieux, employé pour mesurer les vitesses de l'eau au-dessous de la surface, consiste dans le *tube de Pitot*, qui fut essayé pour la première fois, sur la Seine, en 1731. Il se compose d'un tube recourbé, en verre ou en tôle, qui, étant placé dans le courant, l'orifice tourné vers l'amont, devrait indiquer, par l'élévation de l'eau dans la branche verticale, la hauteur due à la vitesse de la veine fluide soumise à l'expérience.

On a employé aussi dans le même but des plaques exposées directement au choc du courant dont on voulait avoir la vitesse, en mesurant cette vitesse par le poids qu'il fallait employer pour les maintenir dans une position verticale. Tel est le système du *tachomètre* de Brünings.

On indique également, comme un procédé avantageux pour la mesure des vitesses, le *moulinet* de Woltmann, espèce de petit moulin à vent qu'on immerge tout à fait, dont le courant fait tourner les ailes, et dont le nombre de révolutions indique la solution cherchée.

Ces divers procédés sont sans doute très-ingénieux, mais ils ont, ce me semble, et surtout le dernier, un inconvénient réel, qui est de réclamer l'emploi de véritables machines, ayant des frottements et des parties tournantes, dont la mobilité peut être plus ou moins variable et modifier en conséquence, d'une manière indéterminée, les résultats normaux.

§ II. *Procédés de jaugeage applicables aux petits et aux moyens cours d'eau.*

I. — *Méthode par les bassins ou récipients.* Toutes les fois que l'on peut obtenir, sur le cours d'eau à jauger, une chute suffisante sans s'exposer à perdre de l'eau en filtrations, la meilleure et, à vrai dire, la seule méthode parfaitement exacte d'en connaître le débit consiste à faire couler en totalité le ruisseau, pendant un certain nombre de secondes, dans un bassin de jaugeage, ou récipient, dont la capacité est connue, soit d'après ses dimensions vérifiées à l'avance, soit d'après une graduation que l'on y établit; puis à diviser le volume

trouvé par le nombre de secondes employées à l'écoulement. Des vannes ou même une simple planche mobile contre deux montants suffisent pour intercepter, à un instant donné, l'introduction, dans le récipient, de l'eau à laquelle on procure en même temps un autre moyen de dérivation.

La principale précaution que l'on ait à prendre est d'empêcher les filtrations, et l'on n'a aucune observation à faire ni sur la section ni sur les vitesses. De sorte que c'est là véritablement le moyen le plus vulgaire, mais le plus certain, de mesurer le produit d'un cours d'eau. Cependant ce même procédé ne laisse pas que d'offrir aussi un grand intérêt pour la théorie ; car en donnant ainsi, d'une manière infaillible, le débit par seconde, il fait également connaître, avec la même exactitude, la vitesse moyenne du courant, laquelle s'obtient en divisant ce débit par la section. Ce serait donc là la seule manière parfaitement exacte de trouver cette vitesse moyenne, si difficile à observer directement, d'étudier ses rapports avec la vitesse superficielle, et de composer ainsi des tables ou des formules qui seraient parfaitement exactes.

La capacité du récipient doit toujours être aussi vaste que possible, afin qu'on puisse y admettre l'écoulement du ruisseau pendant un grand nombre de secondes, et qu'en procédant ainsi, par voie de division, on ait la chance d'atténuer presque entièrement les causes d'erreurs qui auraient pu se glis-

ser dans l'opération. Il est avantageux d'établir ce récipient dans le lit même du ruisseau, convenablement élargi entre deux barrages, dont le premier forme un déversoir ordinaire, sur lequel on puisse faire passer à volonté le volume total du cours d'eau. Quand ce dernier est un peu considérable (8 à 10 onces), il peut y avoir quelques précautions à prendre pour qu'on soit sûr que dès les premiers instants de l'écoulement, lors de l'ouverture de la vanne du déversoir, c'est bien le volume total du ruisseau qui tombe dans le récipient; mais on peut toujours faire en sorte que cela soit à peu de chose près ainsi; et, dans tous les cas, cette chance d'erreur, qui ne peut affecter que les premières secondes de l'écoulement, disparaît presque entièrement dans la division que l'on fait du volume recueilli par le temps employé à l'obtenir.

J'ai employé pour la première fois cette méthode de jaugeage en 1826, étant alors élève-ingénieur attaché au canal de Bourgogne, dans le département de la Côte-d'Or. Il s'agissait de connaître exactement le volume d'eau qui pourrait être fourni pendant l'été, à ce canal, par plusieurs ruisseaux importants actuellement employés à son alimentation. Les résultats ainsi obtenus ont été reconnus depuis parfaitement exacts.

II. — *Méthode par les déversoirs.* Un des moyens les plus expéditifs et les moins coûteux pour mesurer le volume d'une eau courante, notamment

quand il s'agit des sources, consiste à la faire passer en totalité sur un déversoir mince, représenté pl. IX, fig. 1. La hauteur *a b* de ce barrage déversoir, se calcule de manière qu'il y ait toujours une différence sensible et au moins de $0^m,10$ entre le niveau *c d*, de l'eau d'amont et le niveau *e f* de l'eau d'aval.

Il y a à observer deux précautions : 1° on devra éviter que l'exhaussement du niveau *c d* ne produise un remous trop considérable, qui soit de nature à faire perdre une partie des eaux par voie d'infiltration; 2° dans tous les cas, la hauteur *a b* du déversoir devra être assez considérable pour que l'eau d'amont forme sensiblement un réservoir à niveau constant et ne conserve pas de vitesse sensible aux approches de ce barrage. Quand l'écoulement régulier, conforme au débit du ruisseau, peut s'effectuer ainsi, sans inconvénients, sur un simple déversoir, alors le jaugeage ne consiste que dans le seul emploi de la formule applicable à ce mode d'écoulement. Celle qui est donnée dans le Traité d'hydraulique de d'Aubuisson, se présente sous cette forme très-simple,

$$Q=1,80\, l h \sqrt{h},$$

dans laquelle *l* représente la largeur du déversoir, assimilée à la base d'un orifice rectangulaire, et *h*, la hauteur de l'eau au-dessus de ce déversoir, mesurée à une petite distance en arrière.

Si l'on ne peut donner au barrage un exhaussement suffisant pour atténuer presque entièrement la vitesse, on établit au-dessus de ce déversoir, ainsi que le représente la fig. 2, une vanne dont on peut toujours calculer l'ouverture de manière que le niveau *c d*, arrive sensiblement à l'état de repos. Mais alors l'écoulement s'opère par une véritable bouche dont la hauteur est *g a* et sous l'influence d'une pression mesurée par la hauteur *d g*, au-dessus du bord supérieur de cette bouche. On emploie donc pour mesurer le volume d'eau, les formules en usage pour apprécier l'écoulement qui a lieu à travers des orifices, formules indiquées ci-après, chap. XVI, § 2. La nécessité de tenir compte du coefficient de la contraction, toujours variable d'un cas à un autre, rend ce moyen peu avantageux comme procédé de jaugeage. On doit en conséquence éviter d'y recourir, quand on peut opérer différemment.

III et IV. — *Méthodes indiquées par Prony.* Dans son Mémoire sur le jaugeage des eaux courantes, Prony donne une méthode compliquée exigeant la construction d'un ouvrage d'art qui est une espèce de sas d'écluse ayant des conduits latéraux, des vannes et un réservoir au centre, dans lequel l'écoulement s'opère par un pertuis ou orifice ouvert horizontalement dans le fond même du plancher, ou radier de cet ouvrage d'art. Indépendamment de la dépense beaucoup trop grande qu'occasionne-

rait une semblable construction, elle réclame en outre une assez forte chute qu'il n'est pas toujours commun de rencontrer sur les cours d'eau où l'on doit opérer; l'écoulement qui se fait à travers des parois horizontales, a été beaucoup moins étudié que celui qui a lieu par des orifices verticaux; enfin, la formule qui correspond à ce procédé, malgré les tables qui y sont jointes, est encore très-longue à calculer.

Une autre formule plus simple, est donnée par le même auteur dans ses Recherches sur le système hydraulique de l'Italie; elle est applicable à l'écoulement de l'eau par un pertuis.

Il indique ensuite la méthode suivante qui dispense d'avoir égard à la contraction. « On construit deux barrages sur le ruisseau à jauger, l'un desquels, celui d'amont, peut être fermé instantanément par une vanne. Lorsque le régime du courant s'est établi, de manière que la hauteur d'eau ne varie plus dans l'espèce de sas compris entre les deux barrages, on ferme subitement le pertuis d'amont. L'eau continue à couler par le pertuis d'aval et sa surface s'abaisse graduellement dans le sas qui ne reçoit plus de nouvelle eau. La mesure des abaissements fait connaître les volumes de fluide écoulé qui leur correspondent, et l'on observe les temps pendant lesquels ces écoulements ont lieu. En donnant par des revêtements ou autrement, une forme prismatique au sas, les abaissements peuvent se mesurer au

moyen de flotteurs placés devant des tiges graduées. » De là encore, résulte une formule composée de manière à représenter le volume d'eau évalué par cette méthode.

Je dois avouer ici qu'il m'a été impossible de comprendre les détails de cette méthode, indiquée par le savant Prony, page 40 du Mémoire précité. Il me semble même qu'indépendamment des imperfections de la formule, elle serait difficilement exacte; car, puisque l'expérience ne commence que du moment de la fermeture de la vanne supérieure, il est certain qu'on n'observe ainsi rien autre chose que l'écoulement de l'eau par un orifice ouvert dans un réservoir qui se vide, lequel n'a plus de relation avec le débit naturel du cours d'eau qu'on avait pour but de connaître. Tandis que si l'espace compris entre les deux barrages, était considéré comme simple récipient, ainsi que cela est expliqué dans la méthode n° 1, il donnerait exactement, et sans calcul, le volume d'eau cherché.

V. — *Méthode par les flotteurs simples.* Une méthode très-expéditive, mais pas toujours parfaitement exacte, consiste à rendre uniforme sur une certaine longueur le lit des cours d'eau que l'on veut jauger soit en se bornant à l'encaisser régulièrement dans ses berges naturelles, si elles sont pour cela d'une nature convenable; soit en construisant avec des planches un canal artificiel dont les parois sont élevées à angle droit sur le fond. Il

est inutile de faire remarquer que ces précautions sont prises dans le but 1° d'avoir une section à contours rectilignes qui puisse toujours s'évaluer exactement par une opération de géométrie élémentaire; 2° de faire en sorte que la largeur et la hauteur de cette section se maintiennent constantes sur une certaine longueur de manière qu'aucune variation de vitesse ne puisse être due à leur inégalité.

La vitesse superficielle observée à l'aide d'un simple flotteur et multipliée par 0,80 pour les petits cours d'eau, par 0,81 ou 0,82 pour les plus grands, donnera d'une manière très-approximative la vitesse moyenne; laquelle multipliée par la section fera connaître le débit ou le volume d'eau cherché.

Sans doute cette règle, basée sur l'existence d'un rapport constant entre les deux vitesses, n'est point exempte de critique, puisque ce rapport, n'étant donné que comme une évaluation moyenne, peut se trouver quelquefois en défaut. Mais enfin, comme je l'ai annoncé dans le chapitre précédent, on reconnaît fréquemment dans la pratique que cette méthode, qui est la plus simple de toutes, donne des résultats suffisamment exacts pour le plus grand nombre des cas usuels. On y recourt fréquemment dans le Piémont et la Lombardie où, en raison de l'existence d'une multitude de canaux et de rigoles, les vérifications de cette nature sont

continuellement nécessaires. On cherche alors à utiliser, toutes les fois qu'on le peut, les aqueducs qui se présentent toujours en plus ou moins grande quantité sur la direction des dérivations que l'on doit jauger ; et cela dispense d'y faire aucune construction spéciale. On considère qu'une longueur de sept à huit mètres, dans ces ouvrages d'art, est bien suffisante pour garantir convenablement la régularité de la section et de la vitesse que l'on a pour but d'observer pendant cette expérience.

VI.—*Méthode par l'emploi d'un module.* Voici maintenant, mais d'après un ordre de choses tout différent, une des meilleures méthodes auxquelles on puisse recourir pour connaître, avec toute l'exactitude désirable, le volume débité par les petits et les moyens cours d'eau. Elle consiste dans l'emploi d'un module d'une exactitude bien constatée ; ce qui offre le grand avantage de faire connaître la quantité d'eau cherchée, sans recourir à aucune formule ni même à aucun calcul. Le module milanais offrant le plus de garanties, c'est naturellement celui que je choisirai comme exemple pour servir à cette explication. Il est donc nécessaire que l'on se reporte d'abord à la description qui en est donnée dans le § 2 du chapitre XIX. Et quand sa disposition aura été bien saisie, il sera facile de concevoir aussi comment cet appareil peut être utilisé pour le jaugeage, bien que n'étant pas naturellement adapté à cette destination. Remar-

quons en effet qu'un module a pour but de prélever sur un volume d'eau plus ou moins considérable une quantité exactement déterminée, tant par les dimensions réelles de la bouche régulatrice que par les parties accessoires de l'édifice. Tandis que dans le cas actuel il s'agit de faire passer la totalité du volume d'eau inconnu que l'on veut jauger par un orifice que l'on modifie graduellement jusqu'à ce qu'il se trouve exactement dans les conditions voulues; de sorte que par la seule inspection de ses dimensions définitives on connaît le débit cherché.

Les figures 3 et 4 de la planche IX représentent en plan et en élévation les dispositions à adopter pour un appareil de ce genre, auquel il est possible d'apporter quelques légères modifications; par exemple, dans la longueur respective des sas et dans l'inclinaison de la rampe du radier aboutissant à la bouche. Cependant, il vaut mieux, toutes les fois qu'on le peut, conserver les dimensions normales de l'édifice, afin d'avoir toutes les garanties d'exactitude que l'on est en droit d'exiger, lorsque l'on a recours à ce moyen qui, bien que ne réclamant qu'une construction temporaire, ne laisse pas que d'être dispendieux.

On a vu, dans la description du module milanais, que la hauteur de la bouche restant toujours constamment fixée à $0^m,20$, sous une pression d'eau de $0^m,10$, c'était la largeur que l'on faisait varier

pour avoir deux ou plusieurs onces. On a donc, pour l'opération dont il s'agit ici, le soin d'adopter d'abord une bouche un peu plus grande que la portée présumée du cours d'eau à jauger, puis avec une planchette mobile, entre deux rainures horizontales, on rétrécit progressivement l'orifice, jusqu'à ce que son débit représente exactement celui du cours d'eau, ce que l'on reconnaît par le maintien du niveau constant qui doit être établi suivant la ligne *ab*, fig. 3, de manière que la hauteur *eb* soit de $0^{m},10$. Dans tout module bien réglé, on doit connaître exactement le volume débité, non-seulement par la bouche régulatrice, mais aussi par ses divisions et ses multiples. Dès lors, on aura donc ainsi le jaugeage du cours d'eau, par la seule inspection de la largeur définitivement assignée à la bouche.

Afin de conserver leurs proportions relatives aux deux sas différents qui entrent essentiellement dans la construction du module milanais, on établit dans l'édifice fig. 3, la paroi mobile *i. l. m. n. o. p. q*, afin qu'au fur et à mesure du rétrécissement de la bouche d'essai, on conserve toujours les deux retraites égales de 0,25 et de 0,10 que doivent former le sas d'amont et le sas d'aval sur la largeur de ladite bouche.

L'établissement du module milanais exige une chute d'au moins $0^{m},50$, ce qui n'est pas difficile à obtenir. Quant aux modifications que l'on croirait

devoir faire à ses dispositions normales, pour les simplifier, dans l'opération que je viens de décrire, elles ne pourraient guère porter que sur la diminution de la longueur des sas, dans le sens des lignes *de* et *hg*, fig. 3, ou bien sur la diminution de la rampe du radier *ef*, fig. 4, qui est prescrite de $0^m,40$. Mais, comme je l'ai déjà dit, un bon module ne devant rien avoir de facultatif dans sa construction, si l'on juge devoir recourir à ce moyen pour faire un jaugeage très-exact, on ne doit absolument rien changer aux dispositions consacrées par l'expérience.

§ III. *Méthode de jaugeage applicable aux plus grands fleuves.*

Plus un cours d'eau est faible, plus on peut aisément connaître au juste son volume, par les procédés directs du jaugeage. L'emploi d'un récipient ou celui d'un module remplissent ce but aussi bien que possible. Mais l'une et l'autre de ces méthodes peuvent être regardées comme limitées, à peu près, aux portées de 8 à 10 onces ou de 350 à 400 litres par seconde, au plus. Quand il s'agit de courants plus considérables, l'établissement d'un déversoir paraît être le moyen le plus convenable à adopter; enfin, quand on arrive aux très-grandes rivières, il faut nécessairement recourir à une méthode qui n'exige aucune construction quelconque. Tel est le but de ce paragraphe.

La méthode dont il s'agit consiste à choisir, sur le cours de la rivière qu'on veut jauger, une portion rectiligne et régulière, autant que possible, et à observer directement, sur des tranches longitudinales aussi rapprochées qu'on le juge convenable, les vitesses réelles de l'eau, au moyen de flotteurs-plongeants (*aste ritrometriche*), disposés de manière à pouvoir bien remplir ce but.

On commence par déterminer la longueur de la partie du cours sur laquelle on veut opérer; puis on tend sur la section d'amont un cordeau qui doit se trouver à $0^m,20$ ou à $0^m,30$ au-dessus du niveau de la rivière; et sur la section d'aval, un cordeau semblable qui doit être presque en contact avec l'eau.

Cela fait, on marque d'une manière apparente, sur le cordeau d'amont, le nombre de divisions que l'on juge convenable d'établir pour en faire le point de départ des lignes longitudinales sur chacune desquelles on se propose d'observer directement la vitesse réelle de l'eau, au moyen de flotteurs construits comme je vais le dire à l'instant.

On ne peut établir de règle rigoureuse sur la manière d'opérer cette division. Il faut la proportionner à l'état particulier de telle ou telle rivière. Elle doit donc être laissée à l'intelligence de l'ingénieur. D'une part, plus on fera de divisions, plus on aura de chances d'exactitude; d'un autre côté, en en faisant un trop grand nombre, on compliquerait inu-

tilement l'opération, ainsi que le calcul qui en est la suite. On juge, dans chaque localité, d'après le régime du cours d'eau, de l'espacement qu'il est convenable de donner aux lignes d'observation. Dans celle des expériences relatées ci-après, qui a été faite avec beaucoup de soin à Rome, en 1821, pour le jaugeage du Tibre, ayant en cet endroit une largeur de 79^{m}, on a établi 12 lignes d'observation correspondantes à 13 intervalles, ce qui donne environ 6^{m} pour l'espacement moyen de ces lignes, tant entre elles qu'avec celles des berges, qui doivent compter dans l'opération.

Les divisions étant établies en quantités métriques, sur le cordeau d'amont, on abaisse, à partir de ces points, par un simple sondage, des ordonnées verticales que l'on mesure depuis la surface de l'eau jusqu'au fond du lit, et l'on se procure ainsi un profil transversal de la rivière, ou sa section exacte, divisée en trapèzes qui ont pour côtés parallèles et communs, de deux en deux, lesdites ordonnées verticales, tandis que leurs hauteurs géométriques ne sont autre chose que les espacements déterminés horizontalement sur le cordeau. D'après la divergence qui peut être occasionnée dans les filets liquides, soit par une certaine différence de largeur dans les deux sections de la rivière, soit par quelques irrégularités dans son lit, on ne saurait dire exactement à l'avance quels seront, sur le cordeau inférieur, les points d'arrivée des flotteurs partis des divisions

établies, sur le cordeau d'amont. Mais, généralement, ils s'éloignent peu, dans leur trajet, des plans parallèles à la rive la plus voisine, et l'on peut d'ailleurs reconnaître, à peu de chose près, par l'inspection de la surface de l'eau, le trajet que chacun d'eux doit suivre. Cette observation est nécessaire pour faciliter la reconnaissance préalable que l'on doit faire en parcourant plusieurs fois, avec une barque, le trajet présumé de chaque flotteur, afin de reconnaître si les profondeurs observées à l'aplomb des points correspondants des sections extrêmes se maintiennent dans les sections intermédiaires du lit, c'est-à-dire dans tout le parcours que doit faire le flotteur entre ces deux points. On tient note des diminutions de profondeur qu'on pourrait avoir reconnues sur telles ou telles lignes, et ce n'est qu'après cette précaution observée, que l'on établit, en conséquence, les longueurs respectives des flotteurs à employer sur chacune d'elles. Pour cela faire, on donne à la partie qui doit se trouver immergée une longueur un peu moindre que le minimum de profondeur observée sur la ligne à parcourir. En effet, on conçoit aisément que tout obstacle, résultant même du simple contact entre le fond du lit et les flotteurs, qu'on prend pour mesure des vitesses partielles de l'eau, ayant pour effet nécessaire de retarder leur mouvement de progression, amènerait des erreurs dans le calcul de la vitesse moyenne.

La construction de ces flotteurs plongeants est

extrêmement simple. On peut y faire servir tout corps spécifiquement plus léger que l'eau, pourvu qu'il soit équilibré de manière à se mouvoir avec elle, en plongeant à la fois dans les couches superficielles et dans les couches les plus basses. Car c'est seulement d'après cette dernière circonstance, que, sans recourir à aucun autre calcul, ni correction, on peut regarder la vitesse du flotteur comme la vitesse effective ou réelle de la tranche longitudinale de la rivière dans laquelle son parcours s'est effectué.

Dans l'expérience sur le Tibre, dont je rapporte ci-après les détails, on a formé ces flotteurs avec de petits faisceaux de baguettes de saule ou de peuplier, ayant en tout $0^m,03$ à $0^m,04$ de diamètre et dont la longueur variable se réglait d'après les profondeurs observées sur le fleuve. L'extrémité inférieure était insérée dans des cylindres en fer-blanc dans lesquels on introduisait de petits disques en plomb, en nombre suffisant pour donner à cette culasse un poids proportionné à la longueur des faisceaux, de manière à les faire immerger jusqu'à la profondeur voulue; c'est-à-dire à quelques centimètres seulement en contre-haut des points les moins bas de la section longitudinale dans laquelle ils doivent se mouvoir librement.

Cette espèce d'armature était fixée au faisceau de baguettes par une tige formée de la torsion de quatre fils de fer qui passant au centre des ba-

guettes venait saillir de $0^m,04$ à $0^m,05$ au-dessus de l'extrémité supérieure du faisceau, en s'y divisant dans la forme d'une petite ancre, ou d'un hameçon à quatre branches, dont on va connaître de suite la destination.

On conçoit maintenant tout le mécanisme de cette opération, qui n'offre aucune difficulté. Trois personnes au moins sont nécessaires pour la pratiquer. La première, placée dans une barque à cinq ou six mètres en amont du cordeau supérieur, est chargée de placer, avec précaution, les flotteurs de manière qu'ils passent librement sous les divisions de ce premier cordeau, tendu comme je l'ai déjà observé, à une hauteur suffisante pour ne point gêner ce passage. Sans doute on pourrait éviter ce soin en faisant partir les flotteurs du cordeau même et en les y abandonnant à la libre impulsion de l'eau. Mais cela ne se fait pas, et l'on a considéré avec raison qu'il valait beaucoup mieux que ces flotteurs fussent plongés à une certaine distance en amont du point où commence l'observation, afin d'avoir pris définitivement, en cet endroit, leur position constante ainsi que leur mouvement progressif et uniforme. On les place même avec beaucoup de précaution en ayant soin de ne les plonger que peu à peu et de les mettre dans une position légèrement inclinée vers l'aval, car c'est celle qu'ils adoptent constamment; tout cela se fait dans le but d'éviter les oscillations préalables qui seules

suffiraient pour nuire à l'exactitude de cette opération délicate.

La seconde personne, placée également dans une barque, un peu au-dessous de la section d'aval, a pour mission de recueillir les flotteurs qui viennent successivement s'arrêter ou s'accrocher au cordeau inférieur, qu'on a eu soin de tendre, dans ce but, presque en contact avec l'eau. Cet observateur prend note exactement des distances respectives des points d'arrivée des flotteurs sur ce cordeau, distances qui ne pouvaient être arrêtées à l'avance, et il mesure en même temps, à l'aplomb de ces mêmes points, les profondeurs du lit ; ce qui donne le deuxième profil en travers, ou la section d'aval, de la portion de rivière soumise à l'expérience.

Le troisième opérateur, placé sur la rive, observe à l'aide d'une montre à secondes le temps employé par chaque flotteur pour parcourir le trajet compris entre les deux cordeaux. Une seule personne suffit pour cela, parce qu'elle a toujours le temps de se placer successivement en face de l'un et de l'autre, avant l'arrivée des flotteurs. Comme les trajets parcourus ne sont jamais très-obliques sur l'axe de la rivière, on n'a pas égard aux petites différences de longueurs qui pourraient provenir de cette obliquité, et l'on considère la distance entre les deux sections comme constante pour tous les flotteurs.

Un calcul très-simple conduit au résultat de ces

observations. En effet, puisque les flotteurs s'acheminent, d'une section à l'autre, en plongeant à la fois dans les couches superficielles et inférieures de l'eau et en prenant librement une certaine inclinaison sur la verticale, il en résulte que la vitesse de chacun d'eux doit être regardée comme égale à la vitesse moyenne de l'eau dans la perpendiculaire correspondante; c'est-à-dire comme donnant la vitesse réelle de la tranche longitudinale dans laquelle ils plongent. La moyenne arithmétique entre les vitesses de deux flotteurs consécutifs exprime donc aussi la vitesse moyenne ou effective du volume liquide compris entre les plans verticaux parcourus par ces deux flotteurs.

Ces volumes sont généralement des pyramides tronquées comprises entre des bases verticales et parallèles, qui sont des trapèzes pour toutes les divisions à l'intérieur de la rivière, et des triangles pour celles qui aboutissent sur chaque rive.

Dans ce dernier cas la vitesse moyenne doit se calculer comme dans les autres, par la réduite entre les deux vitesses latérales dont l'une, celle qui a lieu le long de la rive, est toujours très-faible, souvent nulle, et même quelquefois négative par l'effet des remous. Mais il est vrai que l'on ne choisirait pas, pour la soumettre à l'expérience dont il s'agit, une portion de cours d'eau présentant cette dernière circonstance qui serait très-désavantageuse. On doit même rechercher de préférence les parties bien

encaissées afin que la vitesse des bords soit toujours appréciable.

Après avoir pris la profondeur moyenne de l'eau sur deux lignes voisines, puis la réduite entre ces deux moyennes, si l'on multiplie cette réduite par la moyenne des distances transversales entre les deux mêmes lignes, distances qui se trouvent marquées sur les cordeaux d'amont et d'aval, on aura ainsi successivement les sections moyennes des volumes liquides dans lesquels on a décomposé le corps de la rivière ; et en multipliant ces sections par les vitesses réelles correspondantes, indiquées par les flotteurs, il en résultera le débit par seconde correspondant à chacun de ces volumes partiels. La réunion des surfaces verticales ainsi calculées, sera exactement l'expression d'une section réduite de la rivière qui serait faite au milieu de la longueur soumise à l'expérience. La somme des volumes d'eau sera la portée totale ou le nombre de mètres cubes par seconde, débités par cette rivière.

Enfin en divisant cette portée d'eau par la section on a pour quotient la vitesse moyenne correspondante.

Il n'existe rien de plus précis que cette méthode pour calculer directement le volume d'eau que porte une grande rivière. On doit donc y recourir lorsqu'on craint que certaines circonstances ne puissent donner des chances d'erreur en calculant la vitesse

moyenne à l'aide des formules générales. Elle est d'une pratique toujours facile, n'exige aucune application de l'analyse, ne réclame qu'un peu de soin et l'application des règles les plus élémentaires du calcul ; elle est donc à la portée de tout le monde.

Je signalerai néanmoins dans ladite méthode une légère imperfection qui y est inévitable et qui tend à donner un résultat un peu fort dans l'évaluation, soit du volume d'eau, soit de la vitesse moyenne qui y correspond. En effet la nécessité de maintenir la culasse des flotteurs à une certaine distance au-dessus des points saillants dans la coupe longitudinale du sol, suivant les plans qu'ils parcourent, oblige de négliger l'appréciation de la vitesse de la couche liquide la plus voisine du lit. Or cette vitesse de fond, qui a lieu dans le contact même du sol, étant la plus faible de toutes, la vitesse moyenne, calculée sans en tenir compte, se trouve par la même raison un peu plus grande qu'il ne convient. Mais dans chaque cas particulier on peut aisément apprécier, d'après les circonstances locales, quelle influence cela peut avoir sur le résultat et y faire au besoin une légère correction à cet égard.

§ III. *Application de cette méthode au jaugeage du Pô et à celui du Tibre.*

Diverses applications de cette méthode ont été

faites en Italie, notamment sur le Pô, aux abords de Ferrare. L'expérience la plus récente, est celle qui a eu lieu le 19 juin 1821, sur le Tibre, à Rome, en présence d'habiles hydrauliciens, pour l'instruction des jeunes ingénieurs. C'est de cette dernière que je donnerai d'abord la description.

Le niveau du fleuve se trouvait alors à $1^m,17$ en contre-bas du desuss de la dernière marche de l'escalier du port de Ripetta, près la Douane, point qui est lui-même à $7^m,66$ au-dessus du niveau de la Méditerranée. Dès lors, le niveau du Tibre n'était, le jour de cette expérience, qu'à $0^m,73$ au-dessus de ses plus basses eaux, dont le niveau descend à $1^m,90$ du repère précité. La journée fut belle et il n'y eut sensiblement pas de vent, pendant toute la durée de l'opération. L'état du fleuve observé plusieurs fois au commencement, dans le cours et à la fin de l'expérience, n'avait subi aucun changement appréciable.

Après avoir choisi sur son cours une portion de 60^m de longueur, on établit sur la section transversale d'amont, ayant $70^m,39$ de largeur, un cordeau bien tendu qui fut divisé, par douze points apparents, en treize portions ayant, à partir de la rive gauche, les longueurs suivantes : $5^m,11$ — $4^m,08$ — $7^m,15$ — $3^m,06$ — $8^m,68$ — $7^m,64$ — $5^m,11$ — $10^m,22$ — $3^m,56$ — $1^m,01$ — $5^m,60$ — $2^m,54$ — $6^m,63$, dont la somme forme bien la

largeur totale de $70^m,39$ qui vient d'être indiquée.

Un cordeau semblable fut établi sur la section d'aval, située à 60^m de distance de la première, et ayant au niveau de l'eau, $77^m,64$ de largeur.

Tous les flotteurs placés avec les précautions indiquées ci-dessus, cheminèrent régulièrement avec une faible inclinaison vers l'aval, et ne s'éloignèrent pas beaucoup des plans parallèles à la rive la plus voisine, ainsi qu'on peut le voir en comparant avec les premières les distances suivantes, qui sont celles des points d'arrivée des flotteurs sur le cordeau d'aval; car au moyen de ces indications, on peut construire aisément une figure qui représente le détail de l'opération. Voici ces distances mesurées à partir de la rive gauche sur le cordeau d'aval : $7^m,21$ — $5^m,35$ — $3^m,83$ — $3^m,83$ — $8^m,76$ — $7^m,12$ — $8^m,98$ — $10^m,07$ — $2^m,30$ — $1^m,73$ — $6^m,36$ — $1^m,73$ — $10^m,37$.

Les flotteurs, dont les longueurs avaient été préalablement combinées avec les diverses profondeurs du fleuve, furent distribués ainsi qu'il suit :

N° 1. — Longueur du flotteur, $1^m,71$. — Distance du centre de gravité à l'extrémité inférieure, $0^m,645$. — Temps employé pour parcourir la distance de 60^m, entre les deux profils..... 108 secondes.

N° 2. — Longueur, $2^m,21$. — Distance du centre de gravité, $0^m,69$. — Temps employé... 78″.

N° 3. — Même flotteur. — Temps employé, 57″.

N° 4. — Même flotteur. — Temps employé, 59″.

N° 5. — Même flotteur. — Temps employé, 55″.

N° 6. — Même flotteur. — Temps employé, 50″.

N° 7. — Longueur, $3^m,21$. — Distance du centre de gravité, $0^m,93$. — Temps employé. — 54″.

N° 8. — Même flotteur. — Temps employé. — 51″.

N° 9. — Longueur, $3^m,81$. — Distance du centre de gravité, $1^m,18$. — Temps employé, 54″.

N° 10. — Même flotteur. — Temps employé, 54″.

N° 11. — Même flotteur. — Temps employé, 61″.

N° 12. — Même flotteur. — Temps employé, 71″.

Voici maintenant le tableau récapitulatif des calculs résultant des données de l'expérience, et au moyen desquels on est arrivé à connaître que la portée du Tibre le jour de l'opération, c'est-à-dire, dans un état voisin de son étiage, était de $244^{mc},055$ par seconde.

TABLEAU DE L'EXPÉRIENCE

NUMÉROS des flotteurs et des lignes parcourues.	PROFONDEURS réelles.		PROFONDEURS réduites.	
	Au profil d'amont.	Au profil d'aval.	Sur chaque ligne.	Entre deux lignes voisines.
	m.	m.	m.	m.
Rive gauche..	0,000	0,00	0,00	
				1,285
1	2,24	2,90	2,57	
				2,82
2	3,00	3,14	3,07	
				3,08
3	3,26	3,09	3,09	
				3,135
4	3.32	3,04	3,18	
				3,162
5	3,34	2,95	3,145	
				3,212
6	3,56	3,00	3,28	
				3,422
7	3,68	3,45	3,565	
				3,98
8	4,36	4,43	4,395	
				4,442
9	4,84	4,14	4,49	
				4,46
10	4,80	4,06	4,43	
				4,43
11	4,82	4,04	4,43	
				4,455
12	4,92	4,04	4,48	
				2,24
Rive droite..	0,00	0,00	0,00	

Vitesse moyenne résultant de la division du volume d'eau par la section. 1,115

SUR LE TIBRE.

DISTANCES moyennes entre deux lignes voisines.	SECTIONS partielles, ou produit des colonnes nos 5 et 6.	VITESSES par seconde des flotteurs dans chaque ligne.	VITESSES moyennes entre deux lignes voisines.	PRODUITS des nombres des colonnes nos 7 et 9.
m.	m. q.		m.	m. c.
		0,555		
6,16	7,916		0,555	4,3934
		0,555		
4,715	13,296		0,662	8,8020
		0,769		
5,49	16,909		0,910	15,3872
		1,052		
3,445	10,800		1,034	11,1672
		1,016		
8,72	27,573		1,053	29,0344
		1,090		
7,38	23,705		1,145	27,1422
		1,200		
7,045	24,108		1,155	27,8447
		1,111		
10,155	40,417		1,143	46,1966
		1,176		
2,93	13,015		1,143	14,8761
		1,111		
1,37	6,110		1,111	6,7882
		1,111		
5,98	26,491		1,047	27,7361
		0,983		
2,135	9,511		0,914	8,6,31
		0,845		
8,45	18,928		0,845	15,9942
		0,845		
Secn. moy.	218,779			

Portée d'eau par seconde. 244m.c.,0554

On peut remarquer qu'on a considéré les vitesses moyennes dans les prismes contigus à chaque rive, comme égales à celles qui ont été observées dans la ligne voisine, ce qui tend à donner un résultat un peu élevé.

Pendant le cours de l'opération sus-relatée, il fut fait une expérience accessoire ayant pour but, de bien constater le décroissement successif des vitesse de l'eau dans une même perpendiculaire, en allant de la surface vers le fond. Ce décroissement était déjà indiqué, dans l'opération elle-même, par l'inclinaison constante que prend toujours vers l'aval, l'extrémité supérieure des flotteurs soumis à l'action naturelle du courant. Mais pour rendre la chose plus palpable, on plaça supplémentairement entre les flotteurs n°s 8 et 9, ayant l'un et l'autre 3^{m},80 de longueur, un faisceau semblable n'ayant que 1^{m} de longueur. Or, tandis que les deux flotteurs latéraux, plongeant jusqu'à une très-petite distance du lit du fleuve, mirent, l'un 51″, l'autre 54″, à parcourir le trajet de 60^{m}, celui-ci n'employa que 45″.

Enfin, pour rendre cette étude tout à fait complète, un flotteur simple formé d'un morceau de liége et destiné à accuser la vitesse superficielle, fut jeté dans le fil de l'eau et parcourut le même trajet en 44″.

Il fut constaté en même temps, à l'aide d'un nivellement très-exact, que le jour de l'opération, la

pente à la surface de l'eau, mesurée de part et d'autre de l'emplacement choisi pour l'expérience, était de $0^m,032$ sur 245^m de longueur, ce qui correspond à une pente très-faible de $0^m,13$ par kilomètre.

J'ai dit dans le paragraphe précédent, que l'approximation qu'on obtient en prenant les 0,81 de la vitesse superficielle, calculée au moyen d'un flotteur simple, quoique n'étant basée sur aucune règle fixe, se trouvait cependant très-souvent d'accord avec les opérations les plus exactes. Cette assertion est vérifiée d'une manière complète, par l'expérience qui vient d'être citée.

En effet la vitesse superficielle et maximum du Tibre, observée comme renseignement accessoire, dans l'opération du jaugeage fait au moyen des vitesses réelles, a été trouvée de $1^m,364$ par seconde, résultant de 60 mètres parcourus en 44 secondes. Les 0,80 de cette vitesse superficielle donneraient pour la vitesse moyenne, d'après la règle ordinaire, $1^m,091$. Le coefficient de 0,81 donnerait $1^m,104$, chiffre lui-même un peu plus faible que celui de la vitesse réelle, déduite du procédé hydrométrique qui vient d'être décrit, laquelle est de $1^m,115$.

Au contraire, si on eût pris seulement les 0,82 au lieu des 0,81 de la vitesse à la surface, on aurait eu une vitesse moyenne de $1^m,118$ et un volume d'eau de $245^{mc},030$; résultat plus élevé que celui de l'expérience précitée; de sorte que la vitesse moyenne observée se trouve bien réellement ici,

selon la règle énoncée, entre 0,81 et 0,82 de la vitesse superficielle.

Mais ne perdons pas de vue, comme j'ai eu soin de le remarquer déjà, que le procédé de jaugeage fait à l'aide des flotteurs plongeants donne des résultats un peu élevés; quand surtout, ainsi que cela a eu lieu sur le Tibre, on a assimilé la vitesse le long des rives à la vitesse, nécessairement plus forte, des filets d'eau qui en étaient éloignés de 6 à 8 mètres. Si donc dans l'état des choses on a trouvé que la vitesse moyenne de $1^{m},115$ fournie par 12 observations partielles se trouve entre 0,81 et 0,82 de la vitesse superficielle, on peut dire assurément que l'expérience ci-dessus, faite avec beaucoup de soin et d'exactitude, vérifie aussi complétement que possible la méthode approximative dont il a été question.

Ce même procédé du jaugeage direct, à l'aide des flotteurs plongeants, avait déjà été pratiqué plusieurs fois en Italie, notamment sur le bas Pô, à ses divers états. Le 19 décembre 1811, en basses eaux, la largeur du lit, à Lagoscuro, était de $606^{m},26$, la profondeur, dans le fil de l'eau, de $3^{m},42$, et la section, calculée au moyen d'un profil trapézoïdal de cinq perpendiculaires, de $1617^{m},408$. Au moyen de cinq flotteurs plongeants qui parcoururent une longueur de 81 mètres, on constata un volume d'eau de $1110^{mc},400$ par seconde, auquel correspondait une vitesse moyenne de $0^{m},687$.

Le 30 mai 1812 la même expérience fut répétée, en eaux moyennes, sur le même fleuve aux environs de Ferrare. La largeur étant sensiblement la même que dans le premier cas, on employa le même nombre de flotteurs ou de lignes d'opération et l'on arriva aux résultats suivants : section $2299^{m},695$, profondeur réduite $3^{m},78$, volume d'eau $1699^{mc},120$, vitesse moyenne $0^{m},736$.

Le 12 juin 1815, pendant une crue, la section, mesurée en face de Francolino, fut trouvée de $3734^{m},561$, la profondeur réduite de $7^{m},32$, le volume d'eau de $4736^{mc},92$ et la vitesse moyenne correspondante de $1^{m},269$.

Enfin le 11 juin 1820 une expérience semblable fut renouvelée sur le Pô, à Fossa-d'Albero, près Ferrare, pour l'instruction des élèves de l'école d'ingénieurs, qui était alors dans cette ville et qui fut depuis transportée à Rome. Le fleuve étant un peu au-dessus de son état moyen, sa largeur fut trouvée de $394^{m},10$, sa section de $2011^{m},18$; le volume d'eau de $2176^{mc},040$, et la vitesse moyenne de $1^{m},146$. On établit comme dans les cas précédents cinq lignes d'opération, parcourues par cinq flotteurs, et la manière de procéder fut la même.

Dans ces diverses expériences faites sur le Pô, aux environs de Ferrare, on adopta pour les flotteurs plongeants (*aste ritrometriche*) une construction un peu différente de celle qui fut employée dans l'expérience semblable faite sur le Tibre, aux portes

de Rome, le 19 juin 1811, et dont j'ai parlé au commencement de ce paragraphe. Ils étaient formés d'un simple bâton en bois de hêtre, peint et verni, pour ne point absorber d'eau. Le cylindre en fer-blanc renfermant les rondelles de plomb, s'y adaptait au moyen de petites chevilles ou clavettes. Selon les divers états du fleuve les longueurs de ces flotteurs ont varié entre $2^m,70$ et $6^m,25$. La distance ménagée entre leur extrémité inférieure et le fond du lit était moyennement de $0^m,40$.

Ces grandes expériences sont, aussi exactement qu'on pouvait l'espérer, en concordance avec les indications de la formule d'Eytelwein. Les vitesses moyennes trouvées sur le Pô ne diffèrent que de 0,03 à 0,07 de celles qu'on déduit de cette formule; tandis que celles de Dubuat, Girard et Prony ne s'accordent aucunement avec ces résultats.

SECONDE PARTIE.

MODULES, OU MESURES EXACTES DU VOLUME DES EAUX COURANTES.

CHAPITRE SEIZIÈME.

CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES SUR LES MODULES.

§ 1. *Nécessité de ces sortes d'ouvrages.*

Partout, aujourd'hui, l'on sent le besoin de recourir à l'emploi d'appareils capables d'opérer une exacte distribution des eaux, en quantités convenables pour les besoins, soit de l'agriculture, soit de l'industrie manufacturière. Cette nécessité sera d'autant plus sentie que ces eaux devenant plus précieuses, leur usage sera recherché davantage.

Remarquons bien qu'il ne s'agit pas seulement ici de partager un certain volume d'eau donné, en parties aliquotes, entre un égal nombre d'intéressés. Cette dernière opération, dont je parle, avec les détails nécessaires, dans le liv. V, en traitant des *partiteurs*, est toujours simple, attendu que, pour l'effectuer convenablement, il n'est pas nécessaire de connaître le produit du volume d'eau soumis au partage, et qu'il ne s'agit que de le diviser dans des proportions connues.

Les modules sont des ouvrages beaucoup plus complexes que les partiteurs, en ce qu'ils ont pour objet de distribuer, aussi exactement que possible, des volumes déterminés d'une eau courante qui doit être employée aux usages, soit agricoles, soit industriels. Je réunis ces deux destinations, parce qu'elles ne sont point distinctes l'une de l'autre, dans les pays qui, comme l'Italie septentrionale, sont en possession de ces appareils régulateurs. Néanmoins, dans la réalité, les modules appartiennent beaucoup plus aux arrosages qu'aux usines, par la raison que l'eau attribuée à l'irrigation est censée consommée, puisque, dans tous les cas, elle ne peut jamais être rendue qu'en très-petite quantité, et généralement à de grandes distances de la prise d'eau; tandis qu'en matière d'usines, il est de règle, au contraire, que les eaux doivent être restituées à leur cours ordinaire presque aussitôt après qu'elles ont produit leur effet utile. Dans ce dernier mode d'emploi des eaux, et c'est un de ses plus grands avantages, une même force motrice, une même puissance productive, peut donc ainsi se transmettre consécutivement, sans diminution sensible, de manière à être utilisée sur plusieurs points voisins les uns des autres.

En un mot, les usines utilisent l'eau sans l'user, tandis que l'irrigation la dépense effectivement. C'est pour cela que les régulateurs destinés à en limiter rigoureusement le débit, ont été

inventés et mis en pratique exclusivement dans les contrées jouissant, depuis longtemps et sur une grande échelle, des avantages de l'irrigation.

Dans la plupart des anciennes concessions, dues à la munificence des souverains, on remarque des dispositions vagues et indéterminées, telles que celles-ci, par exemple : « Le sieur.... est autorisé à dériver de la rivière de... l'eau qui sera nécessaire à l'irrigation de son domaine; à faire les travaux que réclame l'ouverture d'un canal d'arrosage qui sera dérivé de tel fleuve, etc. » De semblables clauses ont toujours eu les plus grands inconvénients; et tôt ou tard, il en est né des contestations sans fin, notamment lorsqu'il a été nécessaire d'étendre à d'autres individus les avantages que procure l'usage des eaux.

Les dispositions de ce genre ne peuvent s'expliquer que par un état excessivement arriéré de l'industrie, là où, sentant le besoin pressant de mettre à profit des richesses naturelles, restées jusqu'alors inertes et sans emploi, les gouvernements sont obligés d'encourager à tout prix les entreprises des particuliers qui sont disposés à mettre en valeur ces richesses. Il n'y a pas encore bien des siècles que les forêts de l'Europe se trouvant surabondantes, relativement à sa population, étaient rangées dans la classe des choses communes, dont l'autorité publique n'a besoin que de régulariser l'usage. On y faisait alors d'immenses concessions, qui étaient presque

toujours conçues dans les termes incomplets que j'ai pris pour texte de ces réflexions. Si, au lieu de franchir des siècles, nous nous reportons seulement à un intervalle de quelque vingt ans, nous voyons les forêts domaniales, déjà restreintes, moins par leur superficie que par la quantité effective de leurs produits, être encore l'objet de concessions très-susceptibles d'extension. Les simples adjudicataires des coupes annuelles, sans bien connaître leur affaire, sans se donner même aucune peine, étaient presque certains de réaliser de grands bénéfices. Dans bien d'autres industries encore, il était admis que cela devait se passer ainsi. En un mot, on n'y regardait pas de près.

Tel était l'état des choses, en Europe, il y a moins d'un demi-siècle; actuellement, il est très-différent. L'accroissement rapide de la population, par l'effet de plusieurs circonstances heureuses, entre lesquelles on doit signaler trente ans de paix, la division des fortunes et des capitaux, les progrès rapides de l'instruction et de l'aisance, dans les classes inférieures, tout cela a fait surgir des besoins d'activité et de travail qui mettent aujourd'hui en présence de toute opération productive un grand nombre de compétiteurs. Une des premières conséquences de cet état de choses est la diminution des profits. Par une autre conséquence également immédiate, l'autorité administrative, qui doit veiller avant tout à la légalité et à la moralité de

ses propres actes, est tenue de faire tous ses efforts pour mettre les instruments de travail, les moyens de production à la portée du plus grand nombre d'individus possible, en évitant qu'ils ne deviennent, pour quelques-uns, un objet de monopole.

Les eaux courantes recèlent en elles-mêmes de véritables richesses par les ressources constantes qu'elles offrent, soit aux travaux de l'industrie, qui ne saurait employer des moteurs plus économiques, soit à ceux de l'agriculture, qui ne peut s'appuyer sur un meilleur auxiliaire. Elles sont donc au premier rang des choses dont la bonne ou mauvaise administration influe beaucoup sur le développement des avantages naturels qui sont propres à tel ou tel pays.

Une distribution parfaitement équitable des eaux courantes entre les divers individus qui sont en droit d'y prétendre, a toujours été regardée comme une des choses les plus difficiles à obtenir. Mais avec les progrès de la science et le secours de quelques expériences spéciales, on viendra à reconnaître que ces eaux, aussi bien que toute autre matière, sont susceptibles d'une attribution rigoureusement, exacte et dès lors on n'aura plus le choix de procéder autrement.

Est-il juste, en effet, que le particulier éclairé et intelligent qui fait fonctionner son usine au moyen d'une bonne roue, avec une très-petite quantité d'eau, soit obligé de restreindre son industrie parce que

son voisin, routinier ou ignorant, s'obstinera à continuer de perdre ou de consommer cette force motrice, sans profit pour personne, dans un appareil mal construit? Est-il juste que les riverains qui auraient pu vivifier leurs terres avec cette eau perdue, par suite du mécanisme vicieux de quelques usines, soient à jamais privés, eux et le pays, des avantages dont la nature des lieux les avait cependant appelés à profiter aussi?

Personne assurément ne soutiendra l'affirmative; car cette manière de voir, quoique non profitable aux particuliers, serait essentiellement contraire à l'intérêt public. La doctrine opposée peut, d'ailleurs, s'appliquer graduellement et peu à peu, sans porter préjudice à personne et sans qu'on cesse de respecter les droits acquis.

Tant qu'on n'a pas connu le moyen de distribuer des eaux en quantités ou en volumes déterminés, on était bien obligé de recourir, pour les concessions, à des méthodes approximatives. C'est ce qui s'est fait, en Italie comme ailleurs, jusqu'à la mise en usage du très-petit nombre de modules exacts dont on verra plus loin la description. Aujourd'hui que la connaissance de ces appareils ne s'est point encore popularisée, la plupart des États d'Europe sont restés sur ce point, au degré le plus arriéré; c'est-à-dire, qu'on y concède encore l'usage des eaux courantes, exactement comme cela se faisait dans le Milanais, il y a cinq ou six siècles. On va plus loin

encore; on attribue à un particulier sans autre limitation, l'eau nécessaire à l'arrosage d'une certaine superficie de terrain. Examinons combien ce mode offre d'inconvénients, pris du moins dans sa généralité.

Dans tous les pays où l'irrigation a quelque importance, l'usage a consacré son emploi pour plusieurs natures de récoltes souvent très-différentes entre elles, tant par les moyens de culture, que par les quantités d'eau qu'elles réclament. Dans le Milanais, qui est par excellence le pays des arrosages, les trois classes de ces cultures usuelles sont: 1° les prairies d'été; 2° les rizières; 3° les prairies d'hiver, du système des marcites. Or, la même quantité d'eau, représentée par le débit continu d'une once ou d'environ 44 litres par seconde, arrosera moyennement 38 hectares de prés d'été, 20 hectares de rizières et seulement un hectare de marcite.

Il résulte de là, que le prix le plus habituel de l'arrosage étant, comme je l'ai calculé dans les descriptions du tome I, d'environ 12 francs pour les prés ordinaires, ce prix se trouve porté à environ 22 fr. 63 c. pour les rizières, et eu égard à la moindre valeur de l'eau d'hiver, à 70 francs seulement pour les marcites. Comment pourrait-on faire alors, si à défaut d'un moyen de vendre les eaux au volume, l'on était obligé, dans le pays, de leur attribuer un prix unique ou même un prix moyen à tant par hectare? Il faudrait nécessairement qu'il y

eût préjudice pour quelqu'un, ou bien que l'on abandonnât tout à fait la prescription légale pour rentrer sous le régime des conventions privées.

Dans le midi de la France, les cultures usuelles qui consomment des quantités d'eau très-différentes, sont encore en plus grand nombre, car il faut distinguer sous ce rapport, entre les céréales, les prairies naturelles, les prairies artificielles, les pépinières et les jardins maraîchers. Or, pour chacune de ces différentes cultures, la dépense de l'eau par hectare est nécessairement différente. On voit donc que pour pouvoir procéder d'après cette dernière méthode, il faut; 1° que l'usage ait permis de désigner toutes les cultures arrosables d'une contrée; 2° que l'on applique un prix différent pour la location de l'eau sur une égale superficie de terrain, suivant qu'il est consacré à telle ou telle de ces différentes cultures. Cela se fait effectivement ainsi dans plusieurs localités, soit dans le midi de la France, soit au delà des Alpes. Mais il vaut infiniment mieux, dès que l'on en a les moyens, que l'eau soit vendue au volume. De cette manière, le contrat entre l'acheteur et le vendeur est toujours simple. L'un peut faire de son eau tout ce qu'il veut, sans que personne ait à s'en enquérir; l'autre est certain que cette eau lui sera toujours payée au prix auquel elle doit l'être; ce qui n'aurait pas lieu ainsi, dans le cas où, devant la livrer à tant l'hectare, il serait obligé de subir toutes les modi-

fications de culture, les expériences, ou les mauvaises combinaisons, que pourraient imaginer les usagers. Fournir de l'eau de cette manière et sans distinction de culture, c'est donc la donner à discrétion; puisque celui qui l'achète ainsi est en droit de prétendre à toute celle qui peut être consommée sur son terrain, et il est évident qu'il y a là une grande source d'abus.

En résumé, la distribution de l'eau d'après des prix réglés à tant par hectare, doit être regardée comme mauvaise, si elle était la seule règle adoptée en principe, surtout dans un pays où la pratique des arrosages est encore nouvelle. Néanmoins, cette méthode est d'un usage commode dans quelques cas, notamment pour les concessions éventuelles comme il s'en fait sur les canaux du gouvernement, dans le Milanais et le Piémont. Mais on doit bien remarquer que, dans ces deux pays, ladite méthode ne s'applique qu'à des récoltes usuelles dont on connaît parfaitement la consommation et qu'elle ne concerne d'ailleurs que des intérêts minimes, relativement à ceux que représente la masse des eaux d'arrosage qui s'y distribuent, dans les concessions durables, exclusivement au volume. On doit conclure de ce qui précède, qu'il est indispensable de pouvoir mesurer les eaux courantes de cette dernière manière, c'est-à-dire au *mètre cube* et au *litre*, comme cela se fait pour tous les autres liquides ayant un emploi dans les arts utiles.

Le premier moyen que l'on a employé et que l'on emploie encore aujourd'hui pour arriver à ce but, consiste à faire usage de bouches non modellées; c'est-à-dire, à concéder, moyennant un prix convenu, l'usage des eaux qui coulent, soit continuellement, soit pendant un temps déterminé, par des orifices on de simples vannes, placées sans intermédiaire, sur les bords mêmes du canal dispensateur.

Ce système, quoique déjà plus limitatif, et conséquemment meilleur, que celui qui consiste à établir le prix de l'eau en raison des superficies irriguées, est lui-même des plus imparfaits.

Il n'est pas nécessaire d'entrer dans beaucoup de détails, pour faire concevoir que de simples vannes, ou orifices verticaux, établis sur les bords des canaux, doivent se trouver bien rarement dans les conditions voulues, pour pouvoir servir à une évaluation rigoureuse des eaux qu'ils débitent dans un temps donné. En effet, les canaux éprouvent dans leur niveau, des variations inévitables, qui y sont occasionnées soit par la relation existant toujours entre leur volume et celui de la rivière où ils s'alimentent, soit par le service même de l'irrigation, d'après le nombre plus ou moins grand de bouches qui se trouvent ouvertes en même temps sur un point déterminé. Or, il y a longtemps qu'on le sait, le volume d'eau débité par une vanne ou un orifice ouvert dans un réservoir, ne dépend pas seulement

de sa section, mais encore de la hauteur d'eau sous laquelle s'effectue l'écoulement, de sorte que toute variation de niveau dans le canal alimentaire se traduit en une variation correspondante du débit de l'orifice. Il s'ajoute à cela mille autres causes qui tendent encore au même but. Ainsi, tantôt de semblables prises d'eau sont placées dans une eau dormante, tantôt dans une eau animée d'une certaine vitesse ; cette vitesse a une direction plus ou moins oblique sur l'axe de la vanne et du canal de dérivation. De plus, l'écoulement de l'eau à la sortie de cette vanne, s'effectue encore dans des conditions différentes, suivant la pente plus ou moins prononcée du canal qui la reçoit, suivant qu'il y a une chute ou un remous, etc., etc.

On conçoit donc aisément, et sans recourir à aucune autre considération, que l'écoulement de l'eau qui se fait à l'aide de simples vannes, ne peut jamais y être exactement réglé. C'est cependant ainsi que les eaux d'arrosage se distribuent encore non-seulement dans le midi de la France, mais dans beaucoup d'autres localités où ces eaux ont cependant un très-grand prix.

Un autre inconvénient de ce système, celui des bouches non modellées, est de favoriser extrêmement les abus qui ont pour objet d'altérer le débit des eaux au profit des usagers. Comme les arrosages de nuit sont généralement plus avantageux que ceux de jour, ils se pratiquent de préférence ; et alors à la

faveur de l'obscurité, les délinquants, soit par eux-mêmes, soit par d'autres mains, trouvent moyen de se livrer impunément à toute sorte de fraudes.

Quand les propriétaires de canaux d'arrosage tolèrent pour les prises d'eau de simples vannes ou martellières en bois, il est fréquent d'y découvrir des parties mobiles habilement enchâssées dans les pièces fixes du vannage; de sorte qu'un seuil qu'on croit réglé à une certaine hauteur se trouve, à volonté, abaissé de $0^m,30$, $0^m,40$ ou $0^m,50$ jusqu'au niveau du fond du canal. Quand les prises d'eau au moyen de bouches non réglées, ont, comme cela se fait généralement aujourd'hui, des seuils et des jouées en pierre, cette fraude n'est plus possible, mais alors on y supplée en plaçant clandestinement dans le canal alimentaire des cordons, épis ou barrages mobiles pour faciliter l'introduction d'une plus grande quantité d'eau dans la dérivation.

Je puis rendre cela sensible par un exemple : une simple poutre chargée de pierres, ou maintenue à son extrémité par un piquet, étant placée obliquement à l'entrée d'une bouche de prise d'eau de $0^m,20$ de hauteur sur $0^m,30$ de largeur peut augmenter son débit de plus d'un tiers. Ce débit dans son état normal, calculé pour une pareille bouche modelée, c'est-à-dire puisant dans l'eau dormante, suffit moyennement à l'irrigation alternative de plus de 80 hectares de prairies. La fraude

dont il s'agit, si elle peut rester inaperçue, procurera donc au délinquant une irrigation supplémentaire d'environ 27 hectares. En mettant l'eau au prix moyen de 25 francs, qu'elle a dans le midi de la France, cela représente, au préjudice du propriétaire du canal, un véritable vol de 675 francs, par chaque saison d'arrosage, par le fait d'un seul usager, et par l'altération d'une seule petite bouche de deux onces.

Si l'eau est livrée à raison de tant par hectare, les moyens de fraude sont encore plus nombreux; la principale s'exerce par l'intervention des fermiers, qui spéculent très-fréquemment sur des eaux soi-disant perdues, mais dont ils se font très-bien payer l'usage par des propriétaires inférieurs. Cet abus est commun en Provence et notamment dans le département de Vaucluse.

Enfin la nécessité des régulateurs se fait encore sentir dans une foule de circonstances, et lors même qu'il n'y a aucune fraude de la part des particuliers. Je ne citerai plus qu'un fait, mais il est à lui seul une démonstration des plus concluantes. Dans les régions du midi, la où les canaux d'arrosage sont le plus avantageux, la saison d'été ne se passe jamais sans qu'il faille, à deux fois au moins, procéder au faucardement des herbes aquatiques qui croissent avec une rapidité telle qu'elles finissent par obstruer une partie notable de la section. Comme un même volume d'eau y est toujours introduit, il

arrive nécessairement qu'aux approches des curages le niveau normal se trouve plus ou moins exhaussé. Sans la présence des régulateurs toutes les bouches recevraient donc, par cette circonstance, une augmentation de pression très-notable. Or, veut-on savoir quelle est l'influence de cette augmentation de pression sur le débit réel des bouches? Cette influence est si grande que pour celles du système milanais par exemple, ayant $0^m,20$ de hauteur, on s'est assuré, par expérience, qu'une variation seulement de $0^m,10$ dans la pression suffit pour modifier des 0,24, c'est-à-dire de *près d'un quart*, le débit normal. Voilà donc, sans qu'on ait rien à reprocher aux usagers, le quart de la portée d'eau d'un canal exposé à être enlevé, dans le seul excédant de débit des bouches, par le seul fait d'un exhaussement de $0^m,10$ dans le niveau de ce canal. Et qu'est-ce qu'un exhaussement de $0^m,10$ quand la croissance rapide des herbes est littéralement capable d'envahir, dans un seul été, la presque totalité de la section du canal! Cependant je n'exagère rien, ne m'appuyant que de la seule autorité des faits.

On pourrait croire que l'utilité des modules régulateurs est exclusivement réservée à l'emploi des bouches taxées, c'est-à-dire aux cas où les eaux se vendent; et que partout où l'on peut les avoir sous d'autres conventions l'usage desdits appareils serait superflu. Mais en raisonnant ainsi on serait dans l'er-

reur. Car lors même qu'un arrosant prendrait les eaux dans un canal qui serait sa propriété, lors même qu'il pourrait en disposer d'une manière illimitée, il serait encore de son intérêt, non seulement comme administrateur du canal, mais comme propriétaire foncier, de ne se livrer des eaux qu'en quantités bien déterminées, et cela pour le succès seulement de ses cultures. Car pour que les arrosages agissent d'une manière salutaire, il est indispensable qu'ils soient distribués avec la plus grande régularité; et ne pas se rendre un compte exact de l'eau que l'on consomme, c'est s'exposer fréquemment à des irrigations surabondantes qui sont ce qu'il y a de plus nuisible à la terre.

Tout concourt donc à prouver combien il est essentiel dans un pays bien administré d'avoir, pour la distribution exacte des eaux, un appareil d'une justesse éprouvée, qui ne laisse rien à la fraude, rien à l'arbitraire, et dont l'usage offre une égale sécurité aux vendeurs comme aux acquéreurs de l'eau destinée aux arrosages.

Les modules ont essentiellement pour but de régler les distributions de détail entre divers particuliers, usagers d'un même canal. Quant aux prises d'eau des canaux eux-mêmes, dans les fleuves et rivières, on les limite ordinairement par d'autres procédés. Du moment qu'une telle prise d'eau atteint 32 à 33 onces, ou $1^{me},50$ par seconde, elle est

déjà trop considérable pour être réglée commodément par un module du système de ceux qui vont être décrits. A plus forte raison lorsqu'il s'agit de l'embouchure d'un canal portant 8, 10, 12 mètres cubes par seconde, comme cela se voit fréquemment.

Les grandes prises d'eau de cette espèce restent plus particulièrement que les autres sous la surveillance de l'administration supérieure, qui en fixe la disposition et les dimensions, sur le rapport des ingénieurs compétents, d'après les principes du jaugeage ou de l'écoulement par des orifices. En parlant plus loin de ce qui concerne ces prises d'eau, j'indique les procédés qu'il est d'usage de suivre, en pareil cas, d'après les diverses circonstances locales.

§ II. *Principes sur l'écoulement des liquides, effectué par des orifices.—Conditions essentielles à la perfection d'un appareil propre à opérer une exacte distribution des eaux.*

L'écoulement effectué par des orifices, ouverts dans les parois d'un vase ou d'un réservoir pleins d'eau, est un phénomène soumis à des lois remarquables. Ces lois n'étaient point à la portée des connaissances restreintes de l'antiquité et leur découverte exigeait des lumières, qui ne se sont manifestées que dans les dernières années du XVIe siècle.

Ce fut vers 1583, que l'immortel Galilée, appelé

par son génie vers les sciences mathématiques et physiques, auxquelles on ne l'avait pas destiné, découvrit les premières notions du principe qui régit la chute des corps pesants. Il paraît que la seule inspection des mouvements oscillatoires réguliers d'une lampe, suspendue dans la cathédrale de Pise, suffit pour lui révéler ce grand principe. Quelques années plus tard, il démontra que tous les corps quels qu'ils soient, sont également sollicités par la pesanteur, et que s'il y a des différences entre les espaces qu'ils parcourent, en tombant dans un temps donné, cela tient à l'inégale résistance que l'air oppose à leur chute, selon les rapports différents qui existent entre leur volume et leur densité. Il posa donc ainsi les bases de la théorie du mouvement accéléré. Galilée étant mort en 1642, ses disciples perfectionnèrent ses découvertes. Parmi ceux-ci, Bénédict Castelli, qui fut longtemps l'objet de sa prédilection, et Torricelli, qu'il n'avait appelé à lui que dans les derniers mois de sa vie, contribuèrent beaucoup aux progrès de la science hydraulique, le premier par ses recherches sur le mouvement des eaux courantes, publiées pour la première fois à Rome en 1638; le second, par la découverte du principe relatif à l'écoulement qui se fait par des orifices, principe établi et publié en 1643 et qui est resté connu de nos jours sous le nom de Théorême de Torricelli. En voici l'énoncé : *Abstraction faite de toute cause de perturbation, la vitesse d'un*

fluide, à sa sortie d'un orifice pratiqué dans les parois d'un réservoir, est celle qu'aurait acquise un corps grave, en tombant librement de la hauteur comprise entre le niveau de la surface fluide dans le réservoir et le centre de cet orifice.

Ce fait, qu'on peut regarder comme un corollaire du principe plus général de l'égalité de pression en tous sens, qui caractérise les liquides, se vérifie par une expérience facile à reproduire. Elle consiste à entretenir plein d'eau, un vase ayant la forme d'un gradin et à percer des orifices sur les parois horizontales. On voit alors l'eau, en sortant de ces orifices, former des jets verticaux qui atteignent presque le niveau supérieur et qui y arriveraient exactement, si diverses causes, dont il va être parlé plus loin, ne tendaient à s'y opposer. Cette expérience vérifie entièrement le théorême de Torricelli, car il résulte des principes élémentaires de la dynamique, que pour qu'un corps lancé verticalement atteigne une certaine hauteur, il faut qu'au point de départ, il ait reçu une impulsion égale à la vitesse qu'il aurait acquise s'il fût tombé librement de cette même hauteur.

Le principe se maintient, quelle que soit la direction que prenne l'eau à la sortie du réservoir. Que l'orifice soit pratiqué dans une paroi horizontale ou verticale, la vitesse du fluide qui en sort est toujours celle qui est due à la hauteur comprise entre la surface du réservoir et le centre du dit orifice.

D'après les principes fondamentaux du mouvement accéléré, les vitesses sont proportionnelles aux temps employés à les acquérir, et les espaces parcourus ou les hauteurs de chute, sont proportionnels aux carrés de ces temps. C'est de là que l'on a déduit ces deux expressions très-simples :

$$v = \sqrt{2gh} \qquad h = \frac{v^2}{2g}$$

dans lesquelles v représente la vitesse du liquide à la sortie de l'orifice, h la hauteur correspondante à cette vitesse et g, l'expression constante de la gravité, que des expériences très-exactes faites à l'Observatoire de Paris, ont fixée à $9^m,8088$. Ce nombre, qui est d'un emploi fréquent dans toutes les formules hydrauliques, exprime donc, pour le lieu où a été faite l'expérience, l'intensité de la pesanteur considérée comme force accélératrice ; ou la vitesse qu'elle imprime à un corps grave, tombant dans le vide, pendant une seconde, prise pour unité de temps.

Des deux principes exposés ci-dessus, établissant la relation qui existe entre les vitesses et les hauteurs correspondantes, il résulte qu'étant donné un vase ou réservoir d'une certaine hauteur, si l'on ouvre dans une de ses parois sur une même verticale, depuis le niveau jusqu'au fond, une série de petits orifices, la courbe qui serait construite en prenant les hauteurs pour abscisses, et pour ordon-

nées les vitesses dues à ces hauteurs, aurait ses abcisses proportionnelles au carré des ordonnées. Or, la seule courbe qui jouisse de cette propriété, est la parabole, ayant pour équation, $y^2 = 2gx$.

Cette remarque a donné le moyen de calculer, d'après les propriétés connues de cette courbe, la série des vitesses correspondantes à des hauteurs données; et la *Table parabolique* publiée en 1764, par le mathématicien milanais De Regi, jouit d'une assez grande confiance près des hydrauliciens, en Italie.

Ayant la vitesse réelle avec laquelle l'eau sort d'un orifice sous une hauteur donnée, il semble qu'il suffirait pour avoir son débit par seconde, de multiplier l'aire ou la section du dit orifice par cette vitesse réelle. Mais l'on n'obtient ainsi que des résultats ne concordant point avec ceux que donne l'expérience.

Remarquons bien que toutes les considérations qui précèdent, sont purement théoriques. En effet, 1° le coefficient de la gravité g, n'est pas une quantité constante, puisqu'il augmente avec la latitude et diminue avec l'élévation du sol. Il faudrait donc déjà que l'on eût soin en faisant usage de tables, de n'employer que le chiffre exactement applicable à la localité où l'on se trouve; 2° l'assimilation faite avec la chute d'un corps tombant dans le vide est encore ici une abstraction, puisque, dans tous les cas usuels, l'écoulement de l'eau, sortant d'un ori-

fice, est plus ou moins modifié par la résistance de l'air ; sans parler des cas où il l'est bien davantage encore par la résistance d'un liquide; 3° mais la principale cause d'après laquelle la dépense réelle d'un orifice est toujours inférieure à celle qui serait donnée par la théorie, consiste dans la contraction que l'eau éprouve à sa sortie de cet orifice.

Par son influence, qui est inévitable avec l'emploi des orifices pratiqués dans des parois ordinaires, il y a toujours une correction plus ou moins grande à faire sur les résultats indiqués par la théorie ; c'est-à-dire, qu'il faut multiplier la dépense théorique des orifices, par un certain coefficient qui est toujours au-dessous de l'unité. Des observations faites dans diverses circonstances, ont prouvé que, pour des orifices moins grands que des vannes ordinaires, ses expressions se tiennent généralement entre 0,60 et 0,70. La difficulté consiste à savoir choisir celle qui est applicable à telle ou telle dimension, à telle ou telle épaisseur des parois d'un orifice donné.

Pour faire la détermination directe du coefficient de la contraction, c'est-à-dire pour trouver le chiffre de réduction de la dépense théorique à la dépense réelle, on jauge avec soin le débit effectué pendant un certain temps et essentiellement sous une charge constante ; on en déduit le débit par seconde, puis en divisant cette dépense réelle par la dépense théorique, correspondante au même orifice sous la même pression, on a pour quotient le coefficient cherché.

On appelle orifice en mince paroi, ou orifice ordinaire, celui dont l'épaisseur n'a qu'environ 1/10 de sa dimension moyenne. Les orifices en mince paroi sont les seuls qui donnent lieu à la contraction. Celle-ci provient de la forme conique du jet, due elle-même à la continuation, au-delà de l'orifice, de la convergence qu'ont prise les filets fluides en se dirigeant de l'intérieur du réservoir vers un centre commun. Quand il y a un prolongement ou ajutage, la contraction n'a plus lieu, ou du moins elle s'opère d'une manière toute différente; mais, dans tous les cas, le frottement qui a lieu, contre les parois intérieures du tube, opère une résistance analogue; seulement les coefficients sont différents.

On trouve, dans les ouvrages d'hydraulique, des tables indicatives des expériences qui ont été faites, dans différentes circonstances, pour déterminer, par la méthode simple que je viens d'indiquer, les coefficients de contraction applicables à des écoulements effectués par des orifices, différents de grandeur et de forme, ainsi que sous des pressions très-variables entre elles. Les plus complètes comme les plus récentes de ces expériences sont celles de MM. Poncelet et Lesbros tendant à établir en moyenne un coefficient de $0^m,62$ à $0^m,63$ qui semblerait devoir convenir aux dimensions les plus ordinaires des bouches de prise d'eau. Mais néanmoins il est certain que l'effet de la contraction est

d'autant plus sensible que la charge d'eau est plus forte, relativement aux proportions de l'orifice; il serait donc nécessaire qu'une expérience spéciale fût faite à cet égard, avant que l'on dût se fier à une règle qui pourrait occasionner beaucoup d'erreurs.

Quand le débit par un orifice, au lieu de s'effectuer simplement dans l'air, s'opère en totalité ou en partie dans l'eau, la question devient beaucoup plus compliquée. Il faut distinguer le cas où l'eau d'aval est dormante de celui où elle est animée d'une certaine vitesse, et tenir compte de plusieurs autres circonstances encore. Ce problème, qui est très-usuel dans les pays d'irrigation, paraît dans son état actuel laisser beaucoup à désirer; et j'ai lieu de douter de l'exactitude pratique des formules que l'on m'a indiquées en Italie comme devant servir à sa solution.

Les détails que je viens de donner m'ont paru être ici à leur place, parce qu'ils font bien concevoir le but et les difficultés du mesurage des eaux par des orifices. Il est bon toutefois de remarquer, en ce qui touche l'objet spécial du présent livre, que l'invention des régulateurs usités dans le nord de l'Italie et notamment celle du plus exact d'entre eux, qui est le module milanais, remonte à plus d'un demi-siècle avant l'époque de la découverte des principes d'hydrodynamique, sur lesquels je viens d'appeler quelques instants l'attention des lecteurs.

Pour donner, comme il convient de le faire, l'historique et la description de ces divers appareils, il faut donc nécessairement rentrer dans le cercle des considérations purement pratiques et expérimentales, sans trop s'attacher à en expliquer le mécanisme, à l'aide de principes que leurs inventeurs ne connaissaient pas.

Dès la première moitié du XVI° siècle on s'était posé le problème d'obtenir un égal débit au moyen de deux orifices, pratiqués dans de simples parois, adaptées soit à un même réservoir d'eau, soit à des réservoirs différents, que l'on suppose toujours pleins; et l'on était arrivé à conclure qu'il faut pour cela, satisfaire à toutes les conditions suivantes :

1° Que les orifices aient exactement la même section, la même forme, et surtout le même contour ou périmètre ;

2° Qu'ils soient placés à une même profondeur au-dessous de la surface de l'eau ;

3° Que les parois aient la même épaisseur ;

4° Que l'eau soit également calme, ou également agitée dans les deux réservoirs, à proximité des orifices, tant à l'intérieur qu'à la surface ;

5° Que cette eau, si elle n'est pas dormante, arrive aux deux orifices avec une même direction et une égale vitesse;

6° Que le dégorgement soit également libre à la sortie des deux orifices ; c'est-à-dire que s'il a lieu

dans des canaux, ils doivent, sur une certaine longueur, être eux-mêmes dans des situations identiques, quant à leur pente et à leur section;

7° Que si l'écoulement se fait dans l'eau, le refoulement que celle-ci opère soit absolument le même pour les deux orifices.

La théorie la plus rigoureuse n'eût rien indiqué de plus précis; car toutes les circonstances énumérées ci-dessus sont susceptibles de modifier, d'une manière plus ou moins notable, le produit de l'écoulement; et l'on ne voit pas qu'il y ait lieu d'en mentionner aucun autre.

Aujourd'hui on poserait peut-être le même problème avec plus de généralité en se demandant à quelles conditions l'on pourrait obtenir un même écoulement au moyen d'orifices différents. Car il est certain qu'avec la liberté de faire varier, d'une manière convenable, les divers éléments qui influent sur la valeur du débit, il y aurait toujours moyen d'arriver, tant à l'aide des indications théoriques que par voie d'expérience et de tâtonnement, à la solution cherchée. Mais autant est grand l'intérêt pratique de la première partie du problème énoncée plus haut, autant cet intérêt serait nul pour la seconde partie, qui ne doit être regardée que comme une recherche curieuse mais peu utile.

Nous allons voir d'ailleurs que la condition dé-

sirée est déjà assez difficile à remplir en la rendant la plus simple possible, sans qu'on vienne compliquer bénévolement une question qu'il est si important de bien résoudre.

Enfin, si de ces considérations, qui sont encore théoriques, on passe à celles qui intéressent directement la pratique des irrigations, on reconnaît qu'un bon module régulateur destiné à la distribution des eaux courantes puisées, soit directement dans les fleuves et rivières, soit dans des canaux principaux de dérivation, doit remplir, le plus exactement possible, les sept conditions suivantes :

1° Sur quelque cours d'eau et dans quelque situation que soient placées des bouches d'une égale portée, elles doivent toujours fournir exactement, dans un temps donné, les mêmes quantités d'eau ;

2° Il importe principalement que le débit puisse rester le même, quelles que soient les variations de niveau qui aient lieu dans le canal alimentaire ;

3° L'édifice, ou appareil régulateur, doit être construit de manière qu'il y ait impossibilité, pour les usagers, ou pour telle personne que ce soit, d'altérer son débit d'une manière quelconque, sans que cette voie de fait ne laisse des traces et dégradations toujours faciles à reconnaître ;

4° La manière de manœuvrer ou de régler cet appareil doit être assez simple pour ne réclamer qu'un degré ordinaire d'intelligence dans les agents ou préposés qui sont chargés de sa manœuvre, sans

que l'on ait à craindre de le voir détériorer par leur inhabileté;

5° On ne doit avoir besoin de recourir au calcul, ni pour règler les dimensions des modules de différentes portées, ni pour connaître leur débit;

6° Leur construction ne doit occuper qu'un petit espace, de manière à être facilement praticable dans toute localité où se fait sentir le besoin de distribuer les eaux en quantités connues;

7° Le débit normal choisi pour unité, une fois obtenu et fixé, on doit faire en sorte qu'il se maintienne constant pour les grandes comme pour les petites bouches.

Tout module qui sera capable de bien remplir l'ensemble des sept conditions précédentes pourra être réputé parfait; mais dans la réalité cela n'existe pas encore. On doit donc, quant à présent, se borner à regarder comme le meilleur, parmi les appareils de ce genre, celui qui, à défaut de toutes, pourra réaliser le plus grand nombre des dites conditions.

§ III. *Disposition fondamentale dans la construction des modules-régulateurs connus jusqu'à ce jour.*

Afin de faciliter l'intelligence des descriptions qui concernent les appareils adoptés dans le nord de l'Italie, pour opérer la distribution exacte des eaux employées aux arrosages, je dirai ici quelques

mots d'une disposition fondamentale qui paraît indispensable à la perfection des ouvrages de ce genre.

L'usage des grandes irrigations en Italie ayant devancé de plusieurs siècles les premières découvertes essentielles faites sur les lois du mouvement des liquides, le besoin d'une méthode exacte pour mesurer les eaux se faisait vivement sentir, sans qu'on pût arriver à la connaissance d'un procédé pratique qui pût remplir ce but ; de sorte que les conditions indiquées dans le paragraphe précédent, restèrent longtemps à l'état de problème.

Après avoir recherché quelles étaient les circonstances dans lesquelles il y a identité de débit par deux orifices, pratiqués dans les parois de vases prismatiques, tels que celui qui est représenté pl. IX, fig. 6, on imagina d'observer l'écoulement de l'eau dans des vases analogues à celui qui est représenté dans la fig. 7, lequel ne diffère du précédent qu'en ce qu'il est partagé verticalement, dans sa largeur, par une cloison ou diaphragme, pouvant se placer à une hauteur variable au-dessus du fond. On reconnut ainsi :

1° Qu'il s'établissait toujours, entre les deux compartiments du vase ou réservoir, une différence de niveau constante, et que cette différence était d'autant plus prononcée, que l'ouverture du diaphragme était moindre, relativement à celle de l'orifice ;

2° Que si, au lieu d'entretenir dans le réservoir un niveau invariable, on opérait dans ce niveau des

exhaussements ou des abaissements, les variations correspondantes se maintenaient toujours proportionnelles avec les hauteurs respectives du liquide primitivement établies dans l'un et l'autre compartiment, pour un état donné des orifices de sortie et de communication; c'est-à-dire, que si le niveau étant constant, ces hauteurs étaient, par exemple, dans le rapport de 3 à 1, un exhaussement de $0^m,30$ dans le premier vase n'en amènerait qu'un de $0^m,10$ dans le 2e; $0^m,15$ en produiraient 0,05; ainsi de suite;

3° Que ce principe n'était point modifié par l'emploi de deux ou plusieurs diaphragmes, ainsi que cela est représenté dans la fig. 8; c'est-à-dire, que la même proportionnalité était maintenue entre les variations de niveau et les hauteurs primitives de l'eau dans le premier et le dernier compartiment, nonobstant l'addition d'un nombre quelconque de diaphragmes intermédiaires, qui ne comptent toujours que pour un.

Ceci est la clé de la théorie des modules, car nous allons voir dans les chapitres suivants que, soit en France, soit en Italie, dans les nombreuses circonstances où l'on a vivement senti le besoin de régler rigoureusement la distribution des eaux d'arrosage, si exposées aux abus, on a toujours été conduit à conclure que la condition la plus importante mais aussi la plus difficile à remplir, était le maintien d'une pression constante au-dessus des bouches de distribution. Or, le problème est complétement

résolu par le mécanisme que je viens d'indiquer. Supposons que le premier vase ou réservoir d'eau soit un canal, que le diaphragme mobile soit une vanne et que l'orifice soit une bouche de distribution, on voit que l'on pourra toujours obtenir au-dessus de la dite bouche, la pression constante qui est nécessaire à la régularité de l'écoulement.

Si l'on jette les yeux sur la fig. 11 qui représente la coupe d'un module piémontais, l'on reconnaîtra que pour obtenir, dans la pratique, l'avantage cherché, il a suffi d'établir la bouche de distribution *n p*, à une certaine distance en arrière du bord du canal alimentaire dont le niveau est *a b* et de placer sur ce bord même, une vanne destinée uniquement à obtenir, et à régler dans un espace déterminé, le niveau *m' n'* correspondant à la pression constante mesurée par la hauteur *n n'*, au-dessus du bord supérieur de l'orifice *p n*. Cette vanne, représentée également dans la fig. 13, est, dans la construction des modules, la partie fondamentale. Elle a véritablement le caractère de *vanne hydrométrique*, en ce qu'elle peut seule régler l'introduction de l'eau dans l'appareil, de manière à y donner toujours la pression constante, qu'il est nécessaire de maintenir au-dessus de la bouche d'écoulement, quelles que soient les variations qui surviennent dans le niveau du canal dispensateur.

En effet, lorsqu'après avoir obtenu cette hauteur constante, si le niveau de l'eau alimentaire vient à

s'élever, on abaisse un peu la vanne de manière que la diminution de section compense la plus grande vitesse du liquide qui entre dans le module; si ce niveau s'abaisse, on élève au contraire la vanne de manière à produire la compensation inverse et à maintenir toujours le niveau constant qui est la condition fondamentale de la justesse de ces appareils.

Dans la pratique, on ne pourrait modifier continuellement la position des vannes régulatrices; en supposant donc que le niveau du canal alimentaire soit sujet à de fréquentes variations, il faudrait nécessairement admettre une légère tolérance pour des variations analogues dans le niveau intérieur, sous l'influence duquel s'effectue l'écoulement. Mais il y a ici une remarque importante à faire, c'est que, indépendamment des facilités qu'offre toujours la vanne hydrométrique pour faire cesser, dès qu'on le juge convenable, la plus légère différence de niveau qui se manifesterait dans l'intérieur de l'appareil, elle agit utilement par sa seule présence, c'est-à-dire, d'une manière permanente, et sans aucune manœuvre, en atténuant, d'après le principe qui vient d'être énoncé plus haut, toutes les modifications qui peuvent se manifester dans le niveau extérieur. Plus il y a de différence entre les hauteurs de l'eau, de part et d'autre de la vanne, plus cette atténuation est grande; ainsi dans le module milanais, pour $2^m,12$ de hauteur, $0^m,10$ à $0^m,12$ d'exhaussement se réduisent à $0^m,025$ au plus.

La vanne hydrométrique n'est cependant pas la seule chose dont il faille s'occuper dans la construction des modules. Car il y a lieu d'examiner encore la distance et la position de la bouche, relativement au niveau du canal alimentaire, le mode d'écoulement des eaux à la sortie même de cette bouche, etc., etc.

En résumé, il y a donc deux choses distinctes à remarquer dans le système des modules, usités en Italie; 1° une disposition uniforme et fondamentale, consistant dans la vanne hydrométrique, qui a pour objet de procurer l'égalité de pression sur l'orifice; 2° des dispositions diverses, et variables d'un module à un autre, ayant pour but de régler le mouvement de l'eau dans l'intérieur de l'appareil, tant en amont qu'en aval de la bouche proprement dite.

On peut remarquer que les modules ou édifices qui n'auraient pour garantie d'exactitude que la vanne hydrométrique fonctionneraient d'une manière plus juste que ceux qui, dépourvus de ce moyen de limitation, réuniraient d'ailleurs toutes les autres précautions accessoires dont il sera parlé plus loin.

Cela s'est manifesté d'une manière très-sensible dans le Milanais où, pendant près de quatre siècles, on s'est servi des eaux d'irrigation distribuées par bouches non réglées, comme cela se fait encore en France, c'est-à-dire au moyen de simples vannes,

et où l'on ne s'est acheminé que très-lentement vers la mise en usage du module exact que l'on possède aujourd'hui. Il se passa alors quelque chose d'analogue à ce qui est si bien exprimé dans notre fable de l'Alouette et de ses petits. La question était entre l'administration publique et les usagers des eaux du Grand-Canal, car ceux-ci avaient usé largement de la faculté qu'on a toujours d'altérer le volume des eaux, distribuées par de simples bouches. Néanmoins, les premières mesures qui furent prises contre ces abus, devenus criants, ne les émurent point du tout; parce qu'ils comprirent parfaitement qu'elles seraient inefficaces et dans tous les cas, de peu d'importance pour eux; en un mot, ils ne craignirent rien, tant qu'ils sentirent l'administration impuissante et condamnée à des demi-mesures. Ainsi, l'on prescrivit bien l'adoption d'une hauteur constante des bouches, au-dessus du fond du Grand-Canal et de l'Olone, avec d'autres dispositions relatives à l'écoulement de l'eau en aval de ces bouches. Tout cela fut accueilli avec une entière indifférence. Mais quand on vit paraître, en 1570, l'appareil complet, pourvu surtout de la vanne hydrométrique, véritable et sérieux obstacle à l'altération du débit des eaux, alors il fut évident pour tout le monde, que le régime de l'ordre allait succéder au régime des abus, et c'est alors que la classe nombreuse des usagers contrevenants s'éleva tout à coup contre une innovation qu'elle redoutait à juste titre. Ce fut

là la seule cause des résistances et des collisions dont j'ai dit quelques mots en donnant dans le tome I, l'historique du *Naviglio-Grande*.

La manœuvre de la vanne hydrométrique n'est point laissée à la disposition des particuliers qui jouissent des prises d'eau; elle est au contraire essentiellement confiée aux gardes ou préposés qui sont chargés, sous la surveillance de l'autorité publique, de la police des arrosages. Une fois fixée pour un état déterminé des eaux, au point qui donne exactement la pression voulue sur la bouche d'écoulement, la vanne est cadenassée à cette hauteur, de manière à ne plus varier qu'avec le concours du même agent, et dans le cas seulement où il en reconnaît la nécessité.

Les dispositions accessoires qui garantissent l'efficacité des modules, sont celles qui ont pour but de régulariser le plus possible, l'écoulement de l'eau au moyen des ouvrages construits, 1° entre la vanne de prise d'eau et la bouche proprement dite; 2° en aval de cette bouche, sur une certaine longueur qui s'étend jusqu'à l'origine libre du canal de dérivation.

Mais il est inutile d'entrer ici dans de plus grands détails, car ces notions générales vont s'éclaircir par la description des édifices ou appareils de distribution des eaux en usage dans les diverses provinces du Piémont et de la Lombardie.

CHAPITRE DIX-SEPTIÈME.

ABSENCE DE MESURES EXACTES, POUR LA DISTRIBUTION DES EAUX, DANS LE MIDI DE LA FRANCE ET DANS LE MIDI DE L'ITALIE.

SECTION I.

MESURES USUELLES DES EAUX D'IRRIGATION DANS LE MIDI DE LA FRANCE.

§ I. *De la meule d'eau ou œil de meule, mesure usitée dans les Pyrénées.*

Dans son mémoire publié en 1821 sur les cours d'eau et sur les canaux d'arrosage des Pyrénées-Orientales, pages 62 et suivantes, M. Jaubert de Passa parle des procédés en usage pour la distribution des eaux dans ce département. Voici ce qu'il en dit :

« A peine les premiers travaux d'un canal sont-ils achevés que l'on procède au partage des eaux. Cette opération est la plus difficile, car c'est de son équité que l'on attend tous les dédommagements des sacrifices auxquels on a souscrit. Qu'elle s'effectue par de grandes dérivations ou bien par de fréquentes saignées, la méthode est toujours la même. Une ouverture circulaire pratiquée dans une pierre posée verticalement livre passage à l'eau. Il en résulte une branche principale que l'intérêt des

co-usagers subdivise et dont l'usage est prescrit par des règlements.

» L'usage est qu'on évalue le volume des eaux en *meules*. Tous les titres, toutes les concessions, toutes les sentences arbitrales consacrent cette unité de mesure, sans qu'il paraisse qu'elle ait jamais été bien définie.

» Il devient donc indispensable de la connaître. C'est en vain qu'on interroge les usagers, ils hésitent dans leur réponse; leurs syndics mêmes partagent leur ignorance et les juges de paix n'en ont pas plus de notions. Cependant à l'aspect d'un cours d'eau ni les uns ni les autres n'hésitent point à prononcer qu'il y coule trois, six, dix meules. Rarement ils diffèrent entre eux. Leur œil exercé paraît ne les tromper jamais.

» Cette indétermination est la cause ou le prétexte de bien des procès. L'obligation imposée à quelques moulins d'entretenir dans leur canal un certain volume d'eau devrait s'exprimer par des mesures positives et non par tâtonnement. Il en est de même pour les conditions imposées et consenties par les fermiers des canaux. Les droits des propriétaires ou fermiers et les droits des usagers, toutes les fois qu'ils ne seront pas limités et fixés par des titres positifs et irrévocables, subiront des interprétations fâcheuses. Il est donc utile de s'en occuper et de retrouver, pour les interprètes de la loi, les principes qui ont présidé aux premiers partages des eaux.

» On apppelle *meule* le volume d'eau nécessaire pour mettre en mouvement un moulin à farine. Mais on sait que suivant sa chute et selon la pente du coursier on obtient ce résultat avec un volume d'eau plus ou moins considérable. Il est donc probable que cette unité de mesure a varié selon les temps et qu'elle a diminué en raison des progrès de l'industrie. »

Après cet exposé, M. Jaubert de Passa établit, par des citations authentiques que dans le XIVe siècle le demi-œil de meule en usage pour le territoire de Perpignan était donné par une ouverture circulaire de quatre pouces dix lignes ($0^{m},131$). Il ajoute que plus tard la subdivision des fiefs ayant multiplié les usines, il ne fut pas toujours possible d'en choisir l'emplacement; qu'alors on remplaça la pente et la chute par un plus grand volume d'eau, de sorte que l'unité de mesure changea avec les besoins. De 1456 à 1725 l'œil de meule, pour le même territoire de Perpignan et le reste du Roussillon, toujours d'après M. Jaubert de Passa, aurait été de sept pouces ($0^{m},190$). D'autres titres cités par le même auteur établiraient au contraire qu'il y aurait des ouvertures depuis six pouces cinq lignes jusqu'à neuf pouces; d'où M. Jaubert conclut 1° que la meule d'eau dans les Pyrénées-Orientales correspond à un œil circulaire de neuf pouces de diamètre, et la demi-meule à un œil de sept pouces.

Les produits métriques de ces diverses ouvertures seraient les suivants :

Pour 9 pouces ($0^m,243$) produit par seconde. . . . . $56^{lit.},81$

Pour 7 pouces ($0^m,189$) produit par seconde. . . . . $41^{lit.},76$

Pour 3 pouces ($0^m,081$) produit par seconde. . . . . $3^{lit.},49$

On admet, en outre en principe, que l'écoulement doit se faire sous la pression constante d'une ligne d'eau au-dessus du bord supérieur de l'orifice.

Dans les passages précités on a fait confusion entre deux choses très-différentes, savoir : la meule-machine ou volume d'eau nécessaire au mouvement d'un moulin, et la meule d'irrigation, volume d'eau beaucoup moindre, usité pour la pratique des arrosages, spécialement dans les Pyrénées. Il résulte de là que les ingénieurs ou experts appelés, dans le département des Pyrénées-Orientales, à donner une évaluation de la meule d'eau, quintuplent ordinairement l'évaluation de M. Jaubert de Passa ; les plus modérés la quadruplent. C'est là, pour un auteur, une manière peu désirable d'être cité par les praticiens. Il est vrai que M. Jaubert lui-même reconnaît, dans l'ouvrage cité, qu'on doit bien se garder d'adopter les chiffres qu'il indique et à l'aide desquels on pourrait, dit-il, s'égarer beaucoup dans les partages d'eau.

Cependant l'anomalie qui se remarque ici ne me paraît résulter que d'un malentendu ou d'une erreur de mots. La meule d'eau, ou la roue d'eau, considérée comme le volume nécessaire au roulement d'un moulin ordinaire, est une mesure approximative dont l'usage a été autrefois adopté presque partout. Et presque partout aussi les estimations qu'on en a données ont été plus ou moins voisines d'un débit de 300 litres par seconde. Non seulement cela est admis dans le département des Pyrénées-Orientales, mais il paraît même qu'on y évalue à 300 litres, juste, cette espèce d'unité, du reste fort imparfaite.

D'un autre côté il est d'usage dans le Roussillon de se servir, pour les moulins, de meules dites catalanes, qui coûtent un prix assez élevé, et que l'on use jusqu'à ce qu'elles soient réduites à une épaisseur de $0^m,15$ à $0^m,20$; quelquefois même au delà. Ces pierres meulières, percées au centre d'une ouverture circulaire qui, dans l'origine, servait à recevoir l'axe tournant, devenues ainsi sans usage pour l'industrie, ont passé au service de l'agriculture; car depuis un temps immémorial c'est à elles que l'on a eu recours dans le pays pour effectuer le mesurage des eaux d'irrigation; et par une raison bien simple on a désigné par le nom d'*Œil de meule* ou simplement de *Meule d'eau*, le volume débité par l'orifice central dont le diamètre était constamment, en ancienne mesure ca-

talane, d'un *pan*, ou de 9 pouces, ou enfin de $0^m,243$. Ce volume d'eau qui, sous la pression d'une ligne, est effectivement d'environ 57 litres par seconde, ne saurait donc être confondu avec celui qui peut suffire pour mettre en mouvement une paire de meules.

§ II. *Du moulan d'eau; mesure usitée dans la Provence et le Dauphiné.*

Dans le recueil raisonné qu'il a publié en 1817, sur les titres et documents relatifs à la compagnie des Alpines, le président Cappeau, ancien avocat au parlement d'Aix, s'exprime ainsi sur cet objet :

« Jusques à nous on n'avait point d'idée précise sur la capacité du moulan d'eau. On le définissait en général, le volume d'eau nécessaire pour faire tourner un moulin à blé, de la grandeur et de la chute le plus ordinaires, dépensant dans les vingt-quatre heures, environ trois mille toises cubes ou $22.189^{mc.}$ d'eau. Au canal de Crapone, on le détermine communément par les dimensions du pertuis par lequel l'eau passe. Le pertuis d'un moulan y est d'un mètre sur un quart de mètre.

» Mais indépendamment de ce qu'aucun titre que je connaisse n'a déterminé précisément les dimensions de ce pertuis, c'est-à-dire sa largeur et sa hau-

teur, il ne faut pas avoir de grandes connaissances en hydraulique pour sentir que les dimensions d'un pertuis sont insignifiantes, tant que sa situation n'est pas fixée ; car il est évident qu'un pertuis de six pouces, dans un endroit où les eaux ont un courant rapide, donnera beaucoup plus d'eau qu'un pertuis de 12 pouces dans un endroit où elles seraient à niveau mort; et comme il est impossible que toutes les martellières soient placées dans une situation égale, c'est-à-dire, dans des endroits où le courant et la hauteur des eaux soient toujours les mêmes, il a fallu, pour préciser le moulan et mettre cette mesure à l'abri de l'arbitraire, donner une autre base que les dimensions du pertuis.

» Nous avons voulu la rendre indépendante et de la pente et de la hauteur des eaux, et de l'ouverture par laquelle on la ferait passer; et nous avons stipulé que ce moulau, que nous achetions au prix de dix mille francs, et que la province s'obligeait à nous fournir, était sept pieds trois quarts cubes, ou treize mille trois cent quatre-vingt douze pouces cubes par seconde, ou quatre cent soixante-cinq pieds cubes par minute, de façon que si l'endroit où l'on mesure les eaux est à niveau mort, l'eau se renouvelant lentement, il faut un plus grand volume pour que, toutes les secondes, elle remplisse un cube de sept pieds trois quarts, qu'il ne le faudrait pour qu'elle remplît le même cube dans le même espace de temps, si cet endroit avait

une pente rapide. De même, la martellière est-elle dans un endroit où les eaux ont de la hauteur? comme la pression en augmente la rapidité, cette martellière aura besoin d'un pertuis moindre que si les eaux avaient beaucoup de surface et moins de profondeur.

» Il est important que l'on sache bien ce que l'on entend par moulan d'eau. C'est une mesure de convention que nous nous sommes donnée; rien ne peut et ne doit l'altérer. »

Il n'existe pas sur la détermination du *moulan d'eau*, mesure très-usitée dans le midi de la France, d'autres renseignements que celui qui précède. On voit donc que le moulan du canal des Alpines, le seul qui soit exactement défini, consiste dans un débit de $0^{m.c.},265$ ou de 265 litres par seconde, ce qui donne bien, en vingt-quatre heures, $22.942^{m.c.}838$; produit plus considérable que celui qu'on attribue au moulan du canal de Crapone. Des transactions peu anciennes, qui eurent lieu sur le canal des Alpines entre le gouvernement, la compagnie concessionnaire et les communes propriétaires de diverses branches, pour l'aliénation ou l'achat de plusieurs volumes d'eau, donnèrent lieu à cette détermination précise du moulan, mesure qui jusqu'alors était restée en Provence une désignation très-vague.

Les procédés, de son invention, que donne le président Cappeau pour le jaugeage des eaux courantes

et pour la détermination des moulans, sont tout à fait illusoires. Mais il n'en est pas moins vrai que les idées émises, même sur la question d'art, par ce magistrat qui fut l'un des fondateurs de la compagnie des Alpines, se distinguent par beaucoup de justesse et par une entente remarquable des imperfections inhérentes à toute distribution d'eau qui se fait sous l'influence de variations continuelles dans le canal alimentaire; il fait observer avec raison que les moulans n'auront rien de fixe ni de précis, tant qu'on ne sera pas parvenu à les distribuer dans des circonstances toujours comparables, en ce qui concerne les pentes, ou la vitesse du liquide dans laquelle on puise. En conséquence, il élève des doutes sur la justesse de toutes les distributions d'eau faites en Provence; ou plutôt il n'hésite pas à les déclarer positivement inexactes, et à dire, page 43 de son recueil, qu'il faudra un jour que toutes ces prises d'eau soient vérifiées et réglées.

On conçoit bien, dit encore le président Cappeau, la distribution par moulans, là où l'eau est dormante, comme dans les bassins du Merle ou de Lamanon; mais là où elle arrive sur les martellières avec des vitesses et des niveaux variables, et en outre sous des directions plus ou moins obliques, on ne doit s'attendre à aucune exactitude. Enfin, il se résume en concluant qu'il faudrait qu'on eût toujours le moyen de distribuer les eaux à *niveau mort*.

Ceci forme une excellente préface à la descrip-

tion que je vais donner des appareils usités en Italie, pour la distribution des eaux d'arrosage. Car nous allons voir que le moyen d'obtenir ce niveau mort, est bien réellement tout le secret de la perfection des modules.

En ce qui touche la détermination du moulan du canal des Alpines, fixé comme on vient de le voir à 265 litres par seconde, on peut remarquer que les administrateurs de ce canal, en procédant empiriquement au choix de cette unité, ont eu la main assez heureuse; car ils sont tombés ainsi, *de plano*, sur une estimation qui s'accorde avec celle de la plus exacte des mesures du même genre usitées dans le nord de l'Italie, la roue de six onces milanaises, qui est d'environ 264 litres. Mais il manquait quelque chose de bien essentiel à ce moulan, dont la valeur et le produit se trouvent préfixés; et ce que l'on a ignoré jusqu'à présent en Provence, ce n'est rien moins que la manière de se procurer exactement dans les cas usuels, ce débit régulateur. Or, maintenant, sans qu'aucune recherche nouvelle soit nécessaire, le problème se trouve résolu, par les descriptions exactes données ici des modules d'Italie, et du module milanais en particulier; sauf toutefois la modification importante, que j'indique comme indispensable à l'entière perfection de cet appareil. Voir à ce sujet, le § 3, du chapitre XIX.

Pour le progrès, et même simplement pour le bon ordre des arrosages, qui intéressent si puissam-

ment l'agriculture du midi de la France, il est de la plus haute importance, qu'il soit fait choix d'un régulateur analogue à ceux qui ont été reconnus nécessaires dans toutes les contrées où l'irrigation opère aujourd'hui de grands bienfaits. L'analogie qui vient d'être signalée, conduirait à conclure qu'il y a lieu d'adopter, purement et simplement, le module milanais, car il est effectivement le plus exact des appareils de cette espèce, connus jusqu'à présent. Cependant on ne doit pas négliger de remarquer que sa construction, qui est assez compliquée, et par conséquent coûteuse, permet des simplifications; que surtout elle comporte dans son état actuel, une imperfection assez notable, en ce qui touche le débit comparatif des petites et des grandes bouches; qu'enfin, il est convenable de préférer, pour l'usage des irrigations de la France, une unité de mesure qui soit parfaitement en rapport avec les bases du système métrique, né dans notre pays et destiné, d'ici à peu de temps, d'après son immense utilité, à se propager dans le monde entier.

Je pense donc que le module d'eau qu'il est le plus convenable d'adopter en France, pour les usages agricoles et industriels, est le débit correspondant à *un demi-hectolitre par seconde*. Je désire pouvoir terminer prochainement une expérience qne j'avais commencée dans le but d'arriver à la détermination complète de cette unité, mais que j'ai été obligé d'interrompre. J'avais déjà été con-

duit à reconnaître ainsi que l'orifice le plus convenable, pour ce module, est une bouche de $0^m,20$ de hauteur, sur autant de largeur, avec une pression constante, qu'il me reste à déterminer, ainsi que les dispositions accessoires de l'édifice, mais qui doit être comprise entre $0^m,15$ et $0^m,20$.

SECTION II.

MESURES USUELLES DES EAUX D'IRRIGATION DANS LE MIDI DE L'ITALIE.

A partir de la rive droite du Pô, l'irrigation, si florissante dans le Piémont et la Lombardie, n'est plus que d'un intérêt secondaire dans les états et provinces qui s'étendent depuis ce fleuve jusqu'à la frontière méridionale de l'Italie. On ne doit donc pas s'étonner de ne rencontrer dans ces divers pays que des procédés imparfaits et inexacts, pour la distribution des eaux.

États de Parme et de Plaisance. — Je ne sais si l'on peut regarder comme une mesure des eaux la seule qui paraisse être particulière à cette contrée. En effet, toutes les recherches auxquelles on peut se livrer sur ce point, aboutissent à cette seule indication : que l'on regarde comme unité de cette espèce, le volume coulant, à pleins bords, dans un canal ayant pour section 108 onces d'un certain bras, qui est, je crois, de $0^m,587$. Il paraît en outre que les dimensions les plus ordinaires de ce canal

étaient une largeur effective, ou moyenne, de 12 onces, sur une profondeur de 9 onces; c'est-à-dire de $0^m,59$ sur $0^m,44$. Mais ces dimensions n'étaient point obligatoires, et une section exprimée par 108 s'obtient de dix manières différentes, avec les dimensions variables qui suivent : 1° 54 sur 2 ;— 2° 39 sur 3 ; — 3° 27 sur 4 ; — 4° 18 sur 6 ; — 5° 12 sur 9 ; plus les cinq autres cas résultant de l'emploi inverse des dimensions sus-relatées. Or, dans ces différents cas, l'écoulement de l'eau ne peut s'opérer d'une manière identique. Indépendamment de ce premier inconvénient, rien n'indique, pour cette prétendue mesure, sous quelle pression l'eau devait sortir du canal alimentaire, de sorte que tout reste dans le vague le plus complet. Il n'est donc pas étonnant que si, dans les provinces dont il s'agit, on a besoin d'une distribution d'eau opérée d'une manière exacte, ce soit au module milanais qu'on ait recours pour l'obtenir.

Etat de Modène. — Sur les territoires de Modène et de Reggio, où il se fait quelques irrigations, à l'aide des cours d'eau qui descendent du revers septentrional de l'Apennin, le module très-imparfait, qui paraît avoir été adopté depuis longtemps, est désigné sous le nom de *macina*, nouveau synonyme du moulan, ou de la roue d'eau ; et l'on entend effectivement par là le volume suffisant pour la mise en jeu d'un tournant de moulin ; mais rien n'est plus vague que cette désignation. On admet

cependant dans ce pays que le volume en question est fourni par une ouverture carrée, dont le côté est un bras de $0^m,523$, lequel diffère par conséquent du bras usuel, mesure du pays, qui est de $0^m,633$. Du reste aucune disposition ne paraît avoir été prise pour obtenir ce volume d'eau sous une pression constante; de sorte que, d'après la grandeur de l'ouverture, son débit peut être excessivement variable.

La section susdite a la plus grande similitude avec celle de la roue de Piémont, représentée pl. XVI, fig. 6; laquelle, quoique ayant son débit réglé à fleur d'eau, c'est-à-dire avec une pression nulle, donne cependant, par seconde, un produit de 342 litres, plus considérable que le débit normal correspondant à la roue milanaise et au moulan de Provence. Dès lors, pour conserver à ce module quelque rapport avec ceux de la même espèce, il serait présumable que l'écoulement doit s'y effectuer aussi sous une pression nulle, sans quoi son produit, trop fort, serait disproportionné avec toutes les autres évaluations de la roue d'eau. Cependant il n'en est point ainsi, et il résulte au contraire d'anciens règlements que cette pression, sur le bord supérieur de l'orifice, peut aller jusqu'à 10 onces, ou à $0^m,435$. Voici donc encore un régulateur des plus variables et sans aucune précision.

Une autre mesure plus petite que l'on considère dans la pratique comme étant la 9e partie de la *ma-*

cina ou roue d'eau du Modenais, s'obtient par une vanne, à ouverture quadrangulaire, dont le côté n'a que le tiers de celui du module précédent, c'est-à-dire, $0^m,174$; ce qui donne une dimension intermédiaire entre celles qui correspondent à l'once de Piémont et à l'once du Milanais, représentées dans la pl. XVI. Mais par une autre bizarrerie également inexplicable, cette dernière mesure ne comporte pas de pression.

Le peu d'eau d'irrigation employée dans la province de Reggio, se distribue par de simples vannes ou martellières; l'ouverture qui est réputée servir d'unité, ou de module, est un carré ayant pour côté le bras du pays, qui est de $0^m,530$.

États romains. — Dans le Ferrarais et la Romagne, on fait très-peu d'usage des eaux pour l'agriculture, parce que ces eaux ne se trouvent qu'à un niveau trop bas, comme celles du Pô, ou sont d'un régime torrentiel et irrégulier, comme la plupart des affluents de la rive droite de ce fleuve.

Dans la province de Bologne, il y a un canal assez important qui est destiné principalement à la navigation, et très-accessoirement à l'arrosage; mais, comme sa portée ne se maintient pas régulièrement pendant l'été, les ressources qu'il offre à ce dernier usage, sont essentiellement limitées et précaires. Le Reno, qui est le cours d'eau le plus important de ce territoire, et les autres torrents qui le sillonnent dans la direction du N. au S. en partant du revers

septentrional de l'Apennin, ont un régime irrégulier et manquent même tout à fait d'eau pendant l'été. C'est ce qui fait que les cultures arrosées, qui eussent été si profitables sur ce sol remarquablement riche, n'ont pas pu y être introduites, et qu'en conséquence, on n'a point eu à s'occuper de la recherche d'un mode usuel de distribution des eaux; sans cela, la ville de Bologne, qui est la cité savante par excellence, et qui fut le berceau des plus célèbres hydrauliciens de l'Italie, aurait assurément payé, dans cette recherche, son contingent de lumières.

Ici comme en France, on supplée autant que possible au manque de module, par des mesures réglementaires et de police, ayant pour but de prévenir les abus dans l'usage des eaux.

Quand il est formé des demandes en concession, l'administration pontificale délègue des ingénieurs qui prescrivent, suivant les circonstances locales, telles dispositions qu'ils jugent convenables dans le but de concilier la destination publique des eaux avec les usages privés que l'on demande à en faire, soit pour l'irrigation, soit pour des établissements industriels. Sur le Naviglio ou canal principal qui a sa direction entre Ferrare et Bologne, il se fait annuellement quelques concessions d'eau pour l'arrosage, mais elles sont, comme je l'ai dit, tout à fait éventuelles et subordonnées aux besoins de la navigation. Les prises d'eau s'opèrent, sans aucune construction accessoire, à l'aide de simples vannes;

néanmoins, dans l'intérêt de la navigation, elles sont assujetties à ce que leur seuil, qui doit être en pierre dure, se trouve toujours placé à 3 pieds bolognais ou à $1^{m},14$ au-dessus du fond du canal, dont la profondeur, d'après la rareté des eaux pendant l'été, a été portée à 2^{m} et plus. En cas de grande pénurie, les vannes de dérivation, qui ne sont manœuvrées que par les seuls gardes ou eygadiers, sont au besoin entièrement fermées. En général, leur manœuvre doit s'opérer de telle manière que la diminution de volume soit répartie proportionnellement entre les divers usagers. Ces dispositions réglementaires ont beaucoup d'analogie avec ce qui se pratique en Provence ; elles remontent, dans la légation de Bologne, à l'administration du cardinal Farnèse, en 1658. Elles y furent reproduites ultérieurement en 1749, 1757 et 1793 ; et enfin, sous le gouvernement français, en 1805.

En 1811, sous ce même gouvernement, il y eut un assez grand nombre de demandes en concession d'eau, sur le canal principal et sur d'autres petits canaux du ci-devant département du Reno. Comme il n'y avait eu jusqu'alors aucune règle fixe pour les concessions, dont la plupart avaient lieu sans limitation régulière, soit par de simples coupures pratiquées dans la berge des canaux, soit par des bouches de dimensions variables, les unes circulaires, les autres rectangulaires, il fut établi que l'on adopterait pour unité, une bouche quadrangulaire

ayant pour côté, 4 onces du pied de Modène, ou $0^m,172$. Mais à défaut d'aucune autre régularisation, cela ne peut pas s'appeler un module de distribution des eaux.

Dans la partie montagneuse des États pontificaux, surtout vers la frontière de Toscane, et dans les environs de Rome, du côté de Tivoli, il existe quelques belles irrigations, qui donnent d'excellents produits, en fourrages et autres récoltes. Mais ces irrigations sont partielles, et attendu qu'elles s'effectuent en grande partie avec des eaux de source, on n'apporte point de limites dans leur distribution. Il en est à peu près de même des arrosages, par voie de dérivation, que l'on rencontre en plusieurs endroits dans les marais Pontins.

Il y aurait peut-être lieu de faire ici quelques remarques intéressantes sur la distribution des eaux des fontaines de Rome, qui continue de s'effectuer, sous la surveillance de l'administration publique, à peu de chose près encore selon les traditions de l'antiquité. Mais il n'y a rien là qui puisse trouver d'application utile dans l'emploi des eaux en faveur de l'agriculture.

Royaume de Naples et Toscane. — Aucune pratique régulière n'existe pour la distribution des eaux courantes dans les provinces de l'Italie méridionale; encore bien qu'on y connaisse parfaitement les lois physiques et théoriques du mouvement des eaux courantes et que ces eaux soient appliquées partielle-

ment aux besoins de l'agriculture, partout où les circonstances le permettent. La raison en est dans la situation topographique de ces contrées qui n'ont pas, comme le nord de l'Italie, de vastes plaines disposées en pente douce au pied d'une chaîne de montagnes d'où coulent en abondance des eaux conservant un volume régulier pendant la saison des chaleurs.

D'autres cultures très-lucratives, au premier rang desquelles on doit citer celles de l'oranger, de la vigne, et de l'olivier, absorbent d'ailleurs ici la majeure partie du travail de la classe agricole.

CHAPITRE DIX-HUITIÈME.

MODULES ET APPAREILS IMPARFAITS, ADOPTÉS DANS LES DIVERSES PROVINCES DU PIÉMONT ET DE LA LOMBARDIE.

SECTION I.

PROVINCES DU PIÉMONT.

Pendant plusieurs siècles, la distribution des eaux, dans les provinces du Piémont et du Novarais, où l'irrigation est extrêmement ancienne, s'est faite sans règles fixes et sans aucune précision. C'est seulement au milieu du XVe siècle, qu'on s'occupa de rechercher, pour les eaux du canal d'Ivrée, une unité de mesure, aussi exacte que le comportaient les connaissances de cette époque. Une ouverture d'un pied carré formant un peu plus d'un quart de mètre superficiel, paraît avoir été la première unité de ce genre adoptée en Piémont. Mais comme on n'avait pas le soin de ne régler l'écoulement de l'eau que sous une pression constante, on ne peut attacher beaucoup d'intérêt à cette première régularisation des arrosages.

Au contraire, il est constant et établi, par des titres authentiques, qu'au milieu du XVIe siècle, dans la même contrée et notamment sur le canal de Caluso, l'eau d'irrigation se distribuait au pied carré, sous une pression déterminée. Cette unité de mesure

prit le nom de *Roue d'eau*, qui est encore en usage aujourd'hui. La roue se divise en douze parties appelées *onces*; mais ici, l'once n'a pas d'appareil particulier, qui corresponde à son débit. Elle est seulement le 12e de la roue dont il est question ci-après. Plus tard, les provinces dont il s'agit s'empressèrent d'utiliser la grande application, faite dans le Milanais, d'un module complet, c'est-à-dire, d'un moyen propre à obtenir toujours cette pression constante qui est la règle fondamentale du débit régulier des bouches de prise d'eau.

Roue de Piémont. — La roue de Piémont est la quantité d'eau qui passe dans une ouverture carrée dont chaque côté a un pied, valant $0^{m},514$. Ce pied, qui est le pied *liprando*, mesure de Piémont, est divisé en 12 onces, de sorte que la roue de Piémont correspond effectivement à une superficie de 144 onces carrées. (Voy. pl. XVI, fig. 6). Je crois d'ailleurs inutile de dire qu'on doit bien se garder de confondre les onces linéaires ou superficielles avec les onces d'eau, car ce sont des choses très-hétérogènes.

Le produit cubique de ce module d'eau est évalué, par les ingénieurs piémontais, à $0^{m.c.},341^{lit.},18$ par seconde; mais on ne peut chercher une entière précision dans cette mesure, qui n'est pas dans les conditions voulues pour l'obtenir. Je regarde cette évaluation comme trop élevée; j'en dirai tout à l'heure le motif. D'abord, une imperfection capi-

tale dans la roue d'eau en Piémont; c'est qu'elle est appliquée sur les anciens canaux, comme mesure régulatrice, en raison seulement de sa superficie et sans conservation rigoureuse d'aucune forme normale. Or, le produit de 12 par 12 ou 144, qui est remarquable par le grand nombre de ses facteurs, permet d'obtenir avec onze dimensions différentes, la surface qu'il exprime. Ces dimensions sont les suivantes: 1° 12 sur 12. — 2° 16 sur 9. — 3° 18 sur 8. — 4° 36 sur 4. — 5° 48 sur 3. — 6° 72 sur 2, plus les cinq autres cas résultant du renversement des dimensions ci-dessus.

D'après une transaction passée en 1579, entre les ducs de Savoie et le duc de Mantoue, relativement à une prise d'eau sur la roggia de Crescentino, il est dit formellement que, par roue d'eau, on entend le volume transmis par une bouche ayant 9 onces de hauteur sur 16 de largeur, ou 144 onces superficielles. Une autre concession de trois roues d'eau, faite en 1764, en faveur du comte de Masin, sur le canal de Caluso, assigne à la bouche unique qui doit débiter ce volume, les dimensions suivantes: 12 onces de hauteur et 36 onces de largeur. On pourrait, d'après les constructions existantes, citer une foule d'autres exemples établissant qu'il n'y a jamais eu rien de bien fixe dans la disposition, ni dans les dimensions de la bouche correspondant à une roue de Piémont. Dès lors, le débit doit nécessairement se ressentir de ces variations; et cela,

par deux principaux motifs ; car des bouches qui n'ont d'autre similitude que celle d'avoir une égale section, mais avec des dimensions différentes, ont leurs centres placés à des hauteurs inégales au-dessous du niveau de l'eau alimentaire, et l'écoulement s'y opère sous des pressions différentes. De plus, l'inégalité des périmètres correspondants aux dimensions inégales, modifie aussi la contraction. Un autre inconvénient majeur est attaché à la distribution des eaux en *roues* de Piémont ; ainsi, bien qu'il soit admis que l'écoulement doit avoir lieu sous une pression constante, on a choisi zéro pour le chiffre de cette pression, en déclarant que le bord supérieur de l'orifice serait placé à fleur d'eau. Or, tout le monde conçoit que quand le débit par un certain orifice est réglé, au moyen d'une pression ou hauteur d'eau constante de $0^m,10$, $0^m,15$, $0^m,20$ au-dessus du bord supérieur; ce débit est exposé à bien moins d'altérations et surtout à des diminutions bien moins notables que si le niveau d'eau dans le réservoir, ne fait qu'affleurer ce bord supérieur de l'orifice. Les autres modules connus en Italie, ont pour caractère distinctif, une certaine pression d'eau, qui varie dans les limites que je viens de citer ; la roue de Piémont est à peu près la seule mesure de ce genre qui présente cette grande imperfection. Il est vrai que depuis très-longtemps, les usagers, à qui cette disposition était très-défavorable, ont réclamé contre elle et l'ont généralement

transgressée. C'est pour cela que, sur les canaux du Vercellais, par exemple, où les eaux sont censées distribuées en roues de Piémont, on peut remarquer des modules disposés avec une certaine pression, beaucoup plus qu'il n'y en a à fleur d'eau.

Tout cela prouve que la roue de Piémont est une mesure défectueuse, et on s'explique aisément que le gouvernement ait récemment sanctionné, pour l'avenir, l'emploi exclusif d'un nouveau module exempt de ces divers inconvénients.

On commença à distribuer les eaux d'irrigation par *roues* dans ce pays, dès l'année 1474; c'est-à-dire, un siècle juste avant l'application du module milanais. Tant que l'on ne connut pas bien les conditions que devait remplir un appareil de ce genre, on se contenta, dans les provinces arrosées du Piémont, de l'usage imparfait de ce premier modérateur. Mais lorsque après une autre période de cent ans environ, on eut constaté quel immense avantage présentait l'adoption d'un module plus exact, on voulut en profiter. Seulement, au lieu d'adopter le module milanais avec ses véritables dimensions, déjà sanctionnées par un long usage, on créa, d'après la mesure du pied et de l'once linéaire du pays, un module nouveau, fait à l'instar de celui de Milan.

Once de Piémont. — Ce fut donc au commencement du XVIIe siècle, que l'on commença à appliquer ce nouveau module. En 1730, il fut dé-

claré par lettres-patentes de Charles-Emmanuel, duc de Savoie, que désormais l'unité légale pour la distribution des eaux en Piémont, serait l'*once*, et que le volume d'eau, ainsi désigné, serait obtenu par un orifice rectangulaire ayant 4 onces linéaires de hauteur constante, sur 3 onces de largeur, avec une pression de 2 onces sur le bord supérieur. On voit que, sauf la différence des mesures des deux pays, c'est tout à fait là la disposition de l'édifice milanais. La figure 5 de la pl. XVI, représente, avec des cotes en mesures métriques, le mode d'écoulement de l'once d'eau, qui paraît avoir été proposée, en Piémont, par l'ingénieur Contini, dont elle a conservé le nom. Dans ce système, l'once d'eau correspond bien à une surface ou section de 12 onces carrées, comme cela a lieu pour celle du système de Michelotti, dont il vient d'être parlé; mais la 12e partie de la roue Michelotti donne une once d'eau plus forte que celle qui est constituée directement, comme je viens de le dire, à l'instar du système milanais. C'est pourquoi cette dernière once, usitée comme régulateur principalement sur le canal de Caluso, est désignée sous le nom de petite once ou once de Contini.

La pression qui devrait être de 2 onces ou de $0^m,86$, au-dessus du bord supérieur de la bouche, donnant l'once de Contini, n'est nullement observée. Dans la pratique, elle est généralement plus forte, et aucune précaution n'est prise pour empêcher cet

abus. Ainsi dans le Piémont, la distribution des eaux, faite par onces, n'est pas, par le fait, beaucoup plus satisfaisante que l'ancienne distribution par roues, qu'on vient de reconnaître comme très-vicieuse.

Les dispositions adoptées pour les régulateurs dans lesquels l'eau se distribue en onces, dans ce système, sont retracées pl. IX, fig. 11. La *paratora*, ou vanne hydrométrique, qui est la première partie de tous les appareils de ce genre, se place, si l'on en a le choix, dans l'endroit le plus favorablement disposé pour y faciliter l'introduction de l'eau. Son seuil est tantôt au même niveau, tantôt plus haut, tantôt plus bas que le fond du lit naturel de la rivière ou du canal alimentaire; selon la disposition des lieux, ou selon le caprice des constructeurs. Dans le plus grand nombre de cas l'eau est attirée vers ladite vanne par une pente ou dépression plus ou moins prononcée, ainsi que cela est représenté sur la coupe indiquée dans la fig. 11, et le seuil de cette vanne n'y forme aucune saillie.

A partir de la vanne de prise d'eau, et sur une longueur qui varie de 12 à 15 mètres, le plafond du canal de dérivation est dressé horizontalement et pourvu d'un radier, ou d'un pavé en dalles, dont le dessus est de niveau avec le seuil de ladite vanne. A une distance de l'embouchure, qui varie également entre 5 et 10 mètres, se place la cloison ou dalle, dans laquelle est taillée l'ouverture régulatrice, dont la hauteur fixe est de 4 onces de Pié-

mont, ou de $0^m,17$, et dont la largeur variable se compose d'autant de fois 3 onces linéaires, ou $0^m,13$, que le module doit fournir d'onces d'eau. La lèvre ou bord inférieur de la bouche régulatrice est ordinairement placée à un demi-pied, c'est-à-dire à environ $0^m,25$ au-dessus du radier horizontal du sas qui la précède. Une petite retraite, taillée dans la face intérieure de la dalle verticale, à 2 onces ou à $0^m,086$ au-dessus de la lèvre supérieure, a pour but d'indiquer la position que doit occuper le niveau d'eau, dans l'intérieur du sas, pour donner toujours la pression constante de 2 onces. La vanne se hausse et se baisse de la quantité voulue, pour obtenir ce niveau constant.

J'ai dit que la longueur du sas compris entre la vanne et la bouche régulatrice, n'avait ni longueur ni forme déterminées. On en trouve en effet sur les canaux du Piémont depuis $4^m,60$ ou 5 mètres, jusqu'à 8, 9 et 10 mètres de longueur. On y remarque presque constamment, aux abords de la bouche ou du module proprement dit, des évasements curvilignes, tels qu'on les voit représentés par les figures 1 et 4 de la planche XII, par la fig. 4 de la pl. XVI, et par la fig. 5 de la pl. XVII. Cette disposition est bonne en ce qu'elle a pour effet d'atténuer la vitesse du courant qui s'établit dans l'intérieur du sas, et qui tend à exagérer le débit des bouches modelées, lequel est toujours censé s'opérer dans un réservoir d'eau sensiblement dormante.

Il n'y a aucune disposition fixe en ce qui touche soit la largeur du sas qui précède les bouches, soit l'ouverture de la vanne de prise d'eau, relativement à la largeur de ladite bouche. Mais bien d'autres dispositions plus essentielles encore se trouvent négligées. On peut même s'étonner de voir reproduites, dans la plupart des édifices de cette espèce, les mêmes imperfections qu'on avait reconnues dans le mode de distribution par roues, le plus ancien qui ait été usité dans le pays. Les principales de ces imperfections consistent dans l'inobservation de la hauteur fixe que doivent avoir les bouches, dont plusieurs n'ont encore leur débit basé que sur la section effective, et dans le manque de fixité de la pression. Ainsi l'on voit au canal de Cigliano une prise d'eau de 14 onces, divisée en deux bouches de 7 onces, dont chacune a 28 onces linéaires de base, sur 3 de hauteur, tandis que l'on n'aurait pas dû s'écarter des dimensions normales qui eussent exigé, pour une bouche de cette portée, 21 onces de base sur 4 de hauteur. Dans cette même prise d'eau, la pression est de 4 onces au lieu de 2.

La plupart des autres prises d'eau existant sur les canaux du Piémont, et notamment celles que représentent les fig. 1 et 4 de la pl. XII, 3 et 4 de la pl. XVI, 4 et 5 de la pl. XVII, sont à peu près dans le même cas. On voit donc que les anciens modules, adoptés dans ce pays, n'offrent que très-peu de garanties.

Roue et once du Novarais. — Les provinces sardes du Novarais et de la Lumelline, situées sur la rive droite du Tessin et ayant pour chefs lieux, les villes de Novare et de Mortara, possèdent de grandes dérivations, ouvertes dès les XIVe et XVe siècles. Ces provinces furent, aussi anciennement que celles de Verceil et d'Ivrée, dans la nécessité d'adopter une règle fixe pour la distribution des eaux d'arrosage, et les choses s'y passèrent absolument de la même manière. C'est-à-dire que jusqu'à la fin du XVIe siècle, époque de la découverte de l'appareil milanais, les concessions d'eau d'irrigation, bien que calculées en onces, se faisaient au moyen de bouches non réglées.

On voit dans les anciens statuts du Novarais, que par une transaction du 30 juillet 1487, des concessions, exprimées en onces d'eau, furent faites en faveur de divers canaux secondaires, dérivés de la Roggia Mora, qui appartenait alors au duc de Milan, Ludovic Sforce.

A cette époque, l'once du Novarais n'était limitée que par la seule condition d'être fournie par une ouverture de 12 onces carrées; chaque once linéaire étant la 12e partie d'un bras, à peu de chose près égal à celui de Milan.

L'ancienne roue du Novarais étant composée de 12 onces, réclamait un orifice de 144 onces superficielles; mais, ici comme dans les provinces de Verceil et d'Ivrée, on regardait comme débitant une

roue d'eau, toute section ayant 144 onces, quelles que fussent d'ailleurs les différences de forme et de position qui eussent lieu dans la situation des bouches; ce qui était loin d'être indifférent. Elles se trouvaient établies tantôt à fleur d'eau, tantôt à une profondeur assez grande, au-dessous du niveau du canal alimentaire. A partir même de la fin du XVIe siècle, époque à laquelle on fut bien fixé, par l'expérience des provinces de Milan et de Pavie, sur l'importance d'avoir toujours au-dessus des bouches, une seule et même pression, on continua, dans les provinces de Novare et de Mortara, notamment sur les canaux Mora, Busca, Rizza-Biragua, à admettre des pressions variables depuis $0^{m},10$, jusqu'à plus de $0^{m},40$.

Sur le canal de Sartirana, dernière dérivation de la Sesia (rive gauche), ouverte également à la fin du XVe siècle, dans la province de Mortara, et sur divers canaux secondaires de la même contrée, une autre unité de mesure était en usage. Il résulte de plusieurs cartulaires que dès l'année 1387, c'est-à-dire très-peu de temps après l'ouverture de la Roggia Sartirana, des concessions d'eau exprimées en *onces*, furent faites à des particuliers et à des communes, notamment à celles de Mede, Villa, Torturolo, Semignana, etc. Mais cette once, qui est encore un usage dans quelques localités de la province de Mortara, consiste en une ouverture ayant pour hauteur invariable, 10 onces

du pied de Pavie, de chacune $0^m,0397$ ou sensiblement $0^m,04$, et pour largeur seulement une once, de sorte que ce module coïncide, à quelques millimètres près, avec celui de la province de Crémone (royaume Lombard-Vénitien), représenté également dans la pl. XVI.

En résumé, ces diverses mesures d'eau, anciennement adoptées à une époque où l'on ignorait les notions fondamentales de l'hydrostatique, et où l'on ne se préoccupait nullement de la pression constante, qui peut seule garantir le débit régulier des bouches, ne pouvaient point offrir les garanties d'ordre que l'on cherche dans l'emploi d'un régulateur. C'est ce qui explique pourquoi le gouvernement Piémontais, dans le but de favoriser l'extension des arrosages, a prescrit récemment qu'à l'avenir, un nouveau module, uniforme pour tout le royaume, serait seul adopté pour toutes les concessions d'eau.

Nouveau module de Piémont. — C'est dans le Code civil des états Sardes, récemment promulgué (en 1837), que se trouve consacrée la disposition qui a pour but de rendre désormais obligatoire, dans ce pays, une seule mesure uniforme des eaux. L'article qui consacre cette nouvelle disposition est ainsi conçu :

ART. 643. — « *En ce qui concerne les nouvelles concessions, où une quantité constante d'eau courante aura été convenue et déterminée, autrement*

dites, concessions à orifice réglé (a bocca tassata), *cette quantité devra toujours être indiquée dans les actes publics, par relation au module d'eau. — Le module est la quantité d'eau, qui ayant une libre chute à sa sortie, s'écoule par l'effet de la seule pression, à travers un orifice de forme rectangulaire. Cet orifice, établi de manière que deux de ses côtés soient verticaux, doit avoir deux décimètres de largeur et autant de hauteur. Il est pratiqué dans une mince paroi, servant d'appui à l'eau qui, toujours libre à sa surface supérieure, est maintenue contre cette même paroi à la hauteur de quatre décimètres au-dessus de la base inférieure de l'orifice.* »

La disposition de ce nouveau module est représentée pl. XVI, fig. 7; son débit est estimé à raison de 59 lit., 88 par seconde. Le Piémont est jusqu'à présent le seul pays dont le gouvernement ait jugé convenable d'intervenir en cette matière importante, en déterminant en mesures décimales une unité uniforme et légale, pour servir dans les concessions d'eau.

On pourrait donc s'étonner que le service rendu à l'agriculture et à l'industrie par cette utile prescription, soit resté incomplet. En effet, on doit remarquer que la disposition précitée, se borne à déterminer seulement la dimension de la bouche régulatrice et la pression qui doit en fixer le débit; mais sans rien dire du reste de l'édifice, dont cepen-

dant la bouche n'est qu'une partie. Or, tout en admettant que l'on puisse ne pas rendre obligatoires des détails aussi nombreux que ceux qui caractérisent l'appareil milanais, il n'en est pas moins vrai que l'on prescrirait vainement l'adoption d'un orifice régulateur, fonctionnant sous une seule et même pression, si les principales conditions de l'écoulement immédiatement en amont et en aval de cette bouche, n'étaient pas déterminées. Il est donc probable que cette omission qui ne saurait être indifférente dans le Piémont, pays où l'on tire un si grand parti des arrosages, ne tardera pas à être réparée. En attendant, on continue d'adopter pour les prises d'eau, qui sont pourvues du nouveau module, les dispositions anciennement consacrées par les usages locaux, tant pour la vaune hydrométrique que pour les maçonneries aux abords.

SECTION II.

PROVINCES DE LA LOMBARDIE.

Province de Lodi. — L'existence du vaste canal de la Muzza, donne une grande importance aux distributions d'eau qui procurent au territoire lodigian son étonnante richesse. Une partie des bouches de la Muzza, surtout dans sa partie supérieure, sont réglées d'après le module milanais, mais en général, elles le sont d'après celui de Lodi.

L'once de Lodi, est la quantité d'eau qui passe

par une bouche rectangulaire ayant pour hauteur invariable 9 onces du bras du pays, de chacune $0^m,0379$, et pour largeur une once, avec une pression constante de deux onces linéaires de Milan, c'est-à-dire, de $0^m,10$. On voit dans la planche XVI, la disposition de cette bouche régulatrice, qui a la plus grande analogie avec celle de Crémone. Elle est une des plus anciennes qui aient été employées dans le nord de l'Italie, et s'est maintenue avec ses dimensions primitives, en passant successivement par les trois périodes distinctes qui ont marqué dans ce pays les progrès de la distribution des eaux. D'abord, simple orifice, établi directement et à une hauteur arbitraire sur le canal dispensateur, elle fut ensuite rendue mobile, dans le but d'obtenir, au moins à-peu-près, l'égalité de pression; puis enfin pourvue, à partir de la fin du XVIe siècle, de la vanne hydrométrique qui garantit cette égale pression. C'est seulement à dater de cette époque que l'on a pu assigner un débit connu à l'once de Lodi, et dans la pratique on estime que cette once vaut 0,52 de celle de Milan, ce qui lui donnerait alors un produit d'environ 22 litres par seconde.

Provinces de Crémone et de Crema. — Dans ces deux provinces, la mesure usuelle de l'eau est l'once de Crémone, ou la quantité de liquide passant par une bouche rectangulaire qui a pour hauteur constante 10 onces du bras du pays, dont chacune vaut $0^m,0403$; et pour largeur seulement, une

once, avec une pression d'eau également d'une once, sur le bord supérieur de l'orifice.

D'après le système admis pour tous les modules, la hauteur de la bouche restant invariable, on donne ici pour largeur, aux orifices, autant d'onces linéaires qu'ils doivent débiter d'onces d'eau. La limite fixée par d'anciens règlements, pour la portée des bouches d'un seul volume, est de 24 onces, ce qui correspond à un rectangle de $0^m,40$ de hauteur sur $0^m,97$ de largeur.

Les dispositions, principales et accessoires, du module de Crémone me paraissent être compliquées sans utilité. Elles sont indiquées par les fig. 9 et 10 de la pl. IX. Sur la rive du canal alimentaire est placée la vanne hydrométrique, ayant son seuil établi suivant *ab*. A partir de ce point, qui est l'origine de la dérivation, le fond de celle-ci est disposé horizontalement, sur une longueur variable, mais qui est rarement au-dessous de 20 à 25 mètres. A l'embouchure proprement dite, les murs de jouée de la vanne de prise d'eau sont prolongés longitudinalement, et en retour, sur une longueur de 4 à 5 mètres. Quant à la largeur de cette embouchure, ainsi délimitée, elle n'est dans aucun rapport fixe avec le module qui est placé sur la ligne *c n o d*, ordinairement à une distance de 8 à 10^m de la vanne susdite. Ce qui distingue essentiellement ce module de tous les autres, c'est que l'eau y est mesurée, non pas suivant l'usage général, par un certain orifice

pratiqué dans une dalle ou paroi ordinaire, mais par un véritable aqueduc, ou sas couvert, qui remplace la bouche régulatrice. Au moyen de la manœuvre de la vanne d'embouchure, on assure le maintien d'une pression constante, qui est fixée à une once, ou à $0^m,04$ au-dessus de la face intérieure de la dalle de recouvrement de cet aqueduc. Et comme le radier est disposé suivant un niveau horizontal, la hauteur d'eau dans la première partie du module, comprise entre la vanne et l'aqueduc, doit être de 11 onces ou de $0^m,44$ au-dessus de ce radier.

L'édifice Crémonais comporte encore deux doubles éperons en maçonnerie, dont les ouvertures sont représentées suivant les lignes *e f*, *g h*, fig. 10. Le principal qui est désigné sous le nom de *briglia*, se place en aval de l'aqueduc régulateur, à une distance qui fut d'abord fixée à 25 trabucchi, ou à $7^m,20$, mais qui est demeurée variable. Sa largeur était déterminée aussi, dans l'origine, sur le pied d'une fois et demie celle de l'aqueduc. Mais nous allons voir plus loin qu'on a également dérogé à cette condition. Le seuil de la briglia doit être établi à une once ou à $0^m,04$ plus bas que le fond de l'aqueduc. L'autre éperon *e f* désigné sous le nom de *scagno*, se place dans le lit même du canal dispensateur. Il porte un seuil en bois ou en pierre, qui doit régler la hauteur du fond de ce canal, exactement au même niveau que celui de l'origine de la dérivation. Ces deux ouvrages détachés se réduisent donc à deux pertuis

qui accompagnent le module proprement dit, sans avoir toutefois aucune liaison avec lui.

On peut voir au premier coup-d'œil, que ce système présente les plus grands inconvénients. D'abord, parce que les frottements considérables qui ont lieu sur les quatre faces de cet aqueduc, dont la longueur n'est pas dans un rapport voulu avec son débouché, introduisent ici un élément tout-à-fait superflu, qui vient compliquer l'appréciation des volumes d'eau, qu'il est déjà si difficile de bien régler, à travers de simples orifices. Cet inconvénient d'un module qui n'est pas à minces parois s'aggrave encore par le manque de liaison qu'on peut remarquer entre les différentes parties de cet édifice et d'où il résulte que lorsque l'axe de l'embouchure, prise entre les jouées de la vanne, et l'axe de l'aqueduc ne sont pas dans une seule et même ligne droite, les frottements, dont je viens de parler, se modifient d'une manière très-notable, mais dont il est impossible d'apprécier exactement l'influence. Enfin, ce qui est pis encore, les éperons en maçonnerie placés, l'un dans le canal alimentaire, en aval de la prise d'eau, l'autre dans le canal de dérivation, en aval du module, sont évidemment plus nuisibles qu'utiles, en ce que rien n'a été prescrit pour qu'ils puissent agir toujours d'une manière uniforme. Ainsi, la *briglia g h* qui était, dans l'origine, d'une largeur plus grande que celle du pertuis, en aval duquel elle est placée, a fini par être établie avec une largeur

moindre, comme cela est représenté dans la fig. 10, et par devenir conséquemment la véritable bouche modératrice de cet appareil, qui se prête, comme on le voit, à toutes sortes de variations.

On a cependant prétendu, mais à tort, je le crois, que c'était là le type et le modèle de tous les autres régulateurs inventés en Italie, dans la seconde moitié du XVIe siècle. Il est vrai que par un décret qui remonte au 22 décembre de l'année 1551, le sénat de Milan avait sanctionné l'unité de mesure adoptée pour la distribution des eaux du canal de Crémone; mais l'appareil qui devait la fournir, n'était pas à beaucoup près aussi compliqué qu'il l'est devenu depuis. La bouche régulatrice ayant, comme il est dit plus haut, 10 onces de hauteur sur une once de largeur, ou $0^m,40$ sur $0^m,04$, était alors pratiquée dans une simple dalle comme cela s'est fait toujours ailleurs. Elle devait avoir une pression d'une once sur le bord supérieur; mais il faut bien remarquer que cette pression n'était garantie par aucune disposition ou manœuvre, particulière à l'appareil connu à cette époque. Le décret précité porte seulement que la bouche sera placée dans la berge même du canal, parallèlement au courant et suffisamment élevée au-dessus du fond, pour que la hauteur d'eau sur le seuil ou sur le bord inférieur de cette bouche, ne soit jamais que de 11 onces.

En 1559, le Podestà de Crémone, délégué par le sénat de Milan, ordonna au contraire, sur la propo-

sition d'un ingénieur crémonais nommé Donieni, que les bouches régulatrices seraient établies de niveau avec le fond du canal; c'est alors que fut prescrit l'emploi du pertuis, comme régulateur, ainsi que celui des deux éperons triangulaires désignés sous les noms de briglia et de scagno.

En 1561, ce système fut adapté, par le dit ingénieur, non-seulement aux principales bouches de distribution du canal de Crémone, mais à celles du canal du marquis Pallaviccini, existant dans la même localité. C'est à cette époque que l'ouverture régulatrice fut mesurée, non plus d'après celle du pertuis ou aqueduc, mais d'après celle de la briglia, qui n'est autre chose qu'un pertuis découvert. Cependant, quelques années après cet essai, l'on revient à la première méthode, qui paraît avoir été toujours conservée depuis, dans la localité; ainsi du moins qu'on peut le conclure des anciens règlements du canal Pallaviccini, rédigés en 1584 et approuvés par le sénat de Milan en 1588.

Cet appareil tant de fois modifié, et demeuré si imparfait, a-t-il donné l'idée élémentaire du module de Milan, c'est-à-dire, celle d'une bouche régulatrice précédée d'un sas couvert et d'une vanne hydrométrique? Il est permis de le supposer, puisque l'édifice milanais est postérieur d'au moins dix ans à celui de Crémone; néanmoins si l'on remarque qu'il n'y a aucune similitude entre eux, et surtout que l'un présente autant de garanties d'exactitude

que l'autre en présente peu ; il est aussi permis de croire que ces deux inventions ont été isolées, et que celle de Soldati conserve tout son mérite.

Dans la province de Crema, le module est sensiblement le même que celui de Crémone, qui vient d'être décrit ; avec cette différence que le bras de Crema n'étant que de $0^m,46978$, tandis que celui de Crémone a pour expression $0^m,48353$, l'once de Crema ne vaut qu'un peu plus de $0^m,039$, de sorte que la bouche régulatrice des eaux d'irrigation, dans cette dernière province, a $0^m,39$ de hauteur, sur $0^m,039$ de largeur. De plus, la pression y est de 2 onces ou de $0^m,078$, au lieu d'être seulement d'une once de $0^m,04$, comme on vient de le voir dans l'édifice de Crémone. Du reste, la régularité de son débit n'est pas mieux garantie.

Province de Bergame. — Dans cette province, l'once d'eau est la quantité de liquide coulant librement, par un orifice circulaire d'une once, ou de $0^m,044$ de diamètre. On s'explique la préférence donnée à cette forme par la facilité de la décrire; mais la mesure qui en résulte manque tout-à-fait de justesse, en ce que rien ne limite la pression sous laquelle doit s'effectuer l'écoulement ; et que dès-lors, suivant que ce petit orifice est placé près de la surface ou près du fond du canal, son débit est très-différent. On avait cependant dressé des tables destinées à faire connaître les débits correspondant à diverses positions de cet orifice, mais on n'en a pas

fait usage, et ce mode de distribution est resté au nombre des moins exacts. Si la pression était fixée, un orifice circulaire n'aurait rien de moins avantageux qu'un édifice à contours rectilignes; car pour obtenir des bouches ayant deux, trois et quatre fois la surface de celle qui serait prise pour unité, il suffirait de multiplier le rayon primitif par la racine carrée de ces mêmes nombres. Le véritable défaut de cette mesure est donc l'absence de toute détermination pour la pression à admettre au-dessus des bouches.

Province de Brescia. — L'eau s'y mesure au *quadretto*; et l'on entend par là, le volume débité par une section carrée, ayant pour côté le bras, mesure du pays, qui est de $0^m,471$. Il paraît que dans l'origine, il était entendu que cette mesure régulatrice conserverait une hauteur constante, et que son centre serait toujours placé au milieu de la hauteur d'eau du canal alimentaire. Mais, dans la pratique, on n'a pas tardé à s'écarter de ce précepte. En effet, d'après le système duodécimal, qui sert encore de base à toutes les anciennes mesures usitées en Italie, il arrive toujours qu'une même section exprimée en bras, pieds et onces, peut s'obtenir par différentes formes rectangulaires, ainsi que je l'ai déjà remarqué en parlant de la roue d'eau de Piémont et de celle de Novare. Il résulta de là, que le quadretto de Brescia, composé superficiellement de 144 onces, subit, presque aussitôt après son adoption, suivant

le caprice ou l'intérêt des usagers, des altérations de forme, qui ne permirent plus de suivre une règle fixe dans la situation des bouches. Ainsi, en dehors de la forme primitive et normale de 12 onces sur 12, on en établit de 6 onces sur 24, de 4 sur 36 et même de 3 sur 48.

Les bouches d'une portée de plusieurs *quadretti*, furent encore, plus que les autres, exposées à ces modifications, et le but que l'on avait voulu atteindre, fut manqué. Cependant, on cherchait par tous les moyens possibles, à obtenir quelque régularité dans le débit des eaux; et longtemps même après l'application qui fut faite de la vanne hydrométrique, dans les provinces de Crémone et de Milan, on avait recours, sur le territoire de Brescia, à des moyens tout à fait illusoires, tels que le suivant: A partir de la bouche proprement dite, établie directement sur le bord du canal alimentaire, on dressait sur une longueur de 600 bras, ou de 282^{m}, le fond du canal de dérivation suivant une pente régulière de 4 onces; ce qui correspond à $\frac{1}{1800}$, ou 0^{m},55 par kilom. Puis sur cette longueur de 282^{m} on répartissait, à des intervalles égaux, trois autres bouches régulatrices pareilles à la première. Or, cela se réduisait à créer un mode d'écoulement compliqué, sans améliorer en rien le résultat, qu'on ne devait jamais connaître avec justesse.

Provinces de Mantoue et de Vérone. — Jusque vers la fin du XVIIIe siècle, le territoire de Vérone

continua d'appartenir à la ci-devant république de Venise, tandis que celui de Mantoue dépendait comme aujourd'hui, de la monarchie autrichienne. Le Tartaro, qui ne sépare aujourd'hui que deux provinces, mais qui formait alors la frontière de deux états limitrophes, fournissait depuis une époque très-reculée, des irrigations à ces deux territoires. On pourrait donc présumer qu'il existe dans ces mêmes provinces, une méthode sinon rigoureuse, au moins très-satisfaisante pour la distribution des eaux, par suite de la diversité d'intérêts qui doit être aussi grande que possible, quand les usagers d'un même cours d'eau se trouvent placés sous des gouvernements différents. Cependant il n'en est point ainsi, et encore bien que la situation particulière des territoires du Mantouan et du Véronais, ait donné lieu à beaucoup de négociations, d'enquêtes, et de règlements, dont j'ai occasion de parler plus loin, dans le volume suivant, la distribution proprement dite des eaux d'arrosage, qui était la chose principale à régler, est restée, sur ces territoires, dans un état très-arriéré. On peut le reconnaître par le détail qui suit.

L'eau se mesure au *quadretto* de Vérone; et l'on entend par là, la quantité qui coule, sous la seule influence de la pression, par un orifice d'un pied carré pratiqué dans une dalle de $0^m,10$ à $0^m,20$ d'épaisseur; avec deux onces de pression sur le bord supérieur de cet orifice. Le pied véronais dont il

s'agit ici, est de $0^m,465$, et l'on ne doit pas le confondre avec l'autre pied, plus usité dans la même province, valant seulement $0^m,343$. Le module d'eau désigné sous le nom de quadretto de Vérone, a donc pour section un carré de $0^m,465$ de côté avec une pression de $0^m,078$ sur le bord supérieur. D'après les règlements, la hauteur de ce module aurait dû rester toujours constante, de sorte que pour avoir une bouche de plusieurs quadretti, c'est la largeur seule qui devrait augmenter. Mais cela n'a pas été observé, et quant à la pression rien n'en garantit le maintien, attendu que dans les provinces dont il s'agit, on a toléré la conservation d'un très-grand nombre de bouches non réglées.

Provinces de Vicence, Trévise, Padoue et Venise. — Dans ces diverses provinces l'irrigation est peu en usage, et l'on n'a pas besoin de modules. Les deux premières jouissent cependant de quelques dérivations assez importantes et surtout d'une assez grande quantité d'eaux de sources, abondantes et régulières, mais elles sont principalement réservées à des usages privés.

CHAPITRE DIX-NEUVIÈME.

MODULE MILANAIS.

§ I. *Historique.*

En donnant, dans le tome Ier, une description sommaire du Naviglio-Grande, j'ai déjà eu l'occasion de parler de l'invention du régulateur adopté pour la distribution des eaux d'irrigation dans le Milanais. Je vais compléter ces détails en indiquant ici les circonstances qui ont précédé cette découverte.

Le canal du Tessin fut achevé dès l'année 1180; avant lui, l'Olone et la Vettabia étaient consacrées à l'arrosage d'une partie du terrain situé au sud de Milan. Mais il s'écoula plusieurs siècles pendant lesquels, malgré le désir que l'on en avait, il ne fut pas possible de trouver un moyen efficace pour bien limiter les dérivations particulières, effectuées soit pour l'irrigation, soit pour les usines.

Il est vrai que la plupart des anciennes concessions, étant vagues et mal définies, prêtaient considérablement à la fraude. Cependant les plus anciennes constitutions du pays avaient sur ce point des dispositions formelles, qui interdisaient sévèrement de dériver, par quelque moyen que ce fût,

des quantités d'eau plus grandes que celles qui étaient désignées dans les actes de concession. Une description exacte de la situation et des dimensions des différentes bouches, existant alors sur le canal, était conservée dans les archives de la municipalité, et l'autorité publique devait veiller soigneusement à ce qu'il n'y fût apporté aucun changement. Mais comment aurait-on pu parvenir à l'exactitude désirable, puisque l'on se bornait à fixer simplement des dimensions superficielles des vannes de prise d'eau, établies sans aucun ouvrage accessoire, sur les bords mêmes du canal?

Dès cette époque éloignée, qui remonte jusqu'au commencement du XIIIe siècle, on donnait déjà, dans le Milanais, le nom d'*once d'eau* à la quantité de liquide qui coulait par une bouche ayant pour section 12 onces superficielles, et dont le seuil devait être établi à 8 onces ($0^m,40$) au-dessus du fond du lit, s'il s'agissait du Grand-Canal, et à 4 onces ($0^m,20$), s'il s'agissait de la rivière d'Olone. A la même époque on faisait aussi des concessions en *roues d'eau* (*rodigini*). Cette mesure, désignant le volume regardé comme nécessaire au roulement d'un moulin, était fournie par une bouche de 6 onces, placée dans les conditions énoncées plus haut; c'est-à-dire directement, et sans aucun ouvrage accessoire, dans la berge même du canal, avec une simple vanne destinée à y admettre, ou à y supprimer à volonté, l'écoulement de l'eau.

Ainsi que je l'ai déjà démontré, rien n'est plus imparfait que cette manière de distribuer les eaux, à l'aide de simples vannes. On l'eut bientôt reconnu dans le Milanais, où les eaux d'irrigation furent toujours très-convoitées par les cultivateurs. Mais il ne suffisait pas de voir le mal, c'était le remède qu'il eût fallu trouver; et, en attendant, l'administration restait impuissante, pour limiter exactement la distribution des eaux.

On cherchait, il est vrai, à suppléer à cet état de choses à force de règlements. Ainsi, dès le 6 février 1376, le duc Jean Galéas Visconti rendit une ordonnance prescrivant le recensement de toutes les bouches du Naviglio-Grande, afin de les ramener à des conditions aussi uniformes que possible, notamment par la destruction des barrages, épis, ou autres constructions analogues, très-nuisibles à la navigation et au libre écoulement des eaux; car la plupart des usagers s'étaient permis d'établir de semblables ouvrages dans le lit même du canal, pour faire arriver, sur leur terrain, les eaux en plus grande quantité, sans avoir besoin d'altérer la dimension des bouches. Mais ces précautions étaient vaines, et de nombreux abus, de véritables désordres avaient lieu journellement dans l'usage des eaux. A chaque instant les magistrats de Milan recevaient les plaintes des Maîtres ou Questeurs des eaux, qui étaient spécialement chargés de cette surveillance; alors on convoquait les usagers dans

des assemblées générales ; et là, après avoir fait le tableau des abus qui se commettaient tous les jours, on leur adressait des admonitions, des remontrances. On les invitait à ne jouir désormais que strictement suivant leurs titres ; enfin, on leur faisait promettre par serment qu'ils ne dépasseraient plus les quantités d'eau à eux concédées. Les usagers promettaient tout ce qui leur était demandé ; puis ils recommençaient à abuser de plus belle.

Le duc Jean Galéas Visconti finit par être tellement irrité de cette manière d'agir, que vers la fin du XIVe siècle il avait rendu un édit portant retrait formel de toutes les concessions gratuites faites sur les eaux du Grand-Canal, tant par lui que par ses prédécesseurs. Mais cette mesure rigoureuse, quoique bien méritée par un grand nombre d'individus, ne fut cependant pas mise en exécution. En 1472, le duc Galéas-Marie rappela l'exécution des règlements publiés par ses prédécesseurs sur la police des eaux du Milanais. En 1494, de nouvelles prescriptions de Ludovic Sforce vinrent encore enjoindre aux usagers de se renfermer strictement dans leurs titres de concession ; mais elles ne produisirent pas plus d'effet que les précédentes.

Lorsque en 1499 le Milanais fut conquis sur ce dernier souverain par Louis XII, roi de France, les mêmes abus s'étaient encore accrus dans une proportion considérable. Ils devinrent tels alors que la navigation se trouvait chaque année interrompue

par la dépense excessive des eaux, dérivées dans la saison des arrosages. Cet état de choses avait les plus funestes conséquences ; l'administration publique ne pouvant absolument rien obtenir des usagers, par la voie légale, était elle-même obligée de recourir à des mesures arbitraires, en faisant procéder d'office à la fermeture des bouches du Grand-Canal, les plus voisines des points où la navigation se trouvait interrompue ; encore bien que ces mêmes bouches ne fussent pas toujours celles qui donnaient lieu au préjudice.

Les premières dispositions qui vinrent sensiblement améliorer la distribution des eaux d'arrosage dans le Milanais, remontent à l'année 1503, époque où la domination française était établie dans ce pays. Ces instructions, datées du règne de Louis XII et conservées dans les archives du gouvernement, prescrivirent : 1° que toutes les bouches seraient désormais pratiquées dans des dalles de marbre ou de granit, et qu'elles auraient une hauteur uniforme de 4 onces (0m,20) ; 2° qu'elles seraient disposées sur le bord des canaux, sans barrage, ni éperon, ni aucune saillie quelconque ; 3° que la bouche proprement dite serait suivie d'une chambre, ou sas, en maçonnerie, de la longueur de 9 bras (5m,40), dont les murs latéraux, parallèles entre eux, formeraient de chaque côté une retraite de 3 onces (0m,15) en sus de la largeur de la bouche ; 4° enfin, que les seuils ou bords inférieurs desdites bouches

seraient établis, au-dessus du fond des canaux, à une hauteur constante, déterminée, pour chaque canal, par des règlements particuliers. Cette hauteur était fixée à 8 onces (0m,40) pour les bouches du Grand-Canal, et à 4 onces (0m,20) pour celles de l'Olone, qui avait une moindre hauteur d'eau.

Ces mêmes instructions, qui commencent exactement avec le XVIe siècle, sont remarquables en ce qu'on y trouve les premiers rudiments du régulateur complet, qui, soixante-dix ans plus tard, fut définitivement adopté dans le même pays. On peut remarquer qu'elles pourvoyaient déjà à des dispositions essentielles, notamment pour régulariser l'écoulement de l'eau en aval des bouches. Mais un but principal de ces premières instructions paraît avoir été de prescrire, en pierre, le rétablissement des anciennes prises d'eau, ou martellières, en bois, qui donnaient lieu à toutes sortes d'abus. Cette disposition se trouve prescrite d'une manière générale dans le passage suivant du chapitre XXIX des Statuts du Milanais, publiés vers la même époque :

« Et quod dictus lapis ita tagliatus seu perforatus debeat claudi ad bucam seu spondam lecti Oloni, de bono muro facto de lapidibus et cemento, taliter quod dictum foramen seu spatium foraminis remaneat altum a fundo dicti Oloni per tertiam unam unius brachii. »

La même clause était insérée dans toutes les anciennes concessions datant de la première moitié du XVIe siècle. Les autres instructions, édits ou

règlements du règne de Louis XII, pour la surveillance et la police des bouches de prise d'eau dans le Milanais, furent reproduits de 1516 à 1522 par diverses lettres-patentes de François Ier, roi de France, et publiées plusieurs fois à la diligence des magistrats du pays. Les mêmes prescriptions furent encore renouvelées en 1537, époque à laquelle le Milanais était passé sous la domination espagnole. Mais chaque fois qu'il était fait de nouvelles vérifications, on découvrait toujours de nouveaux empiétements, de nouveaux délits.

Ainsi, quoiqu'il y eût déjà dans le mode de distribution des eaux un acheminement sensible vers le système actuel, qui fut définitivement appliqué en 1572, on n'obtenait cependant encore qu'une limitation très-imparfaite; et cela fut ainsi jusqu'à ce que l'on ait eu recours à la vanne hydrométrique, qui seule peut garantir le maintien d'une pression constante au-dessus de l'orifice d'écoulement. Tout ce que l'on avait imaginé précédemment, en fait d'autres dispositions accessoires, était resté frappé d'impuissance.

Nous verrons par les descriptions qui suivent que l'on ne peut pas contester la priorité d'emploi de cette vanne dans un autre module que celui du Milanais; mais par une étrange bizarrerie on trouve ce puissant moyen de régularisation adapté, dès 1561, au module de Crémone, dans lequel, d'un autre côté, on semble avoir pris à tâche de réunir

toutes les causes possibles d'imperfection. De sorte que, sous le rapport de l'efficacité, l'on est toujours en droit d'admettre que cette ingénieuse découverte n'a véritablement été mise à profit, d'une manière complète, qu'en 1572, dans le module du Milanais.

A partir de la deuxième moitié du XVIe siècle, tout avait préparé dans ce pays la découverte d'un bon régulateur. Il est vrai que les premiers progrès de l'hydraulique en Italie s'étaient à peine déjà manifestés par quelques résultats. Les belles découvertes de Galilée, de Castelli, de Torricelli et autres savants, n'existaient point encore. Mais le besoin, de plus en plus senti, de mettre de l'ordre dans la distribution des eaux, suppléa à l'insuffisance de la science; et l'appareil milanais fut découvert soixante-dix ans avant les principes qui peuvent en expliquer le mécanisme.

Je donne ici le programme des conditions qui, dès le milieu du XVIe siècle, avaient été posées par les magistrats de Milan, pour appeler l'attention des ingénieurs sur cet important problème :

1° Indiquer l'unité qui doit être regardée comme la meilleure pour la mesure des eaux d'irrigation, et un mode de distribution qui ne soit préjudiciable, ni au trésor public, ni à la navigation, ni aux usagers;

2° Trouver un appareil disposé de telle manière qu'il puisse, avec des bouches de dimensions déterminées, débiter, dans un temps donné, un volume

d'eau constant, quels que soient les exhaussements ou abaissements qui surviennent dans le niveau du canal alimentaire; c'est-à-dire que ce débit, une fois réglé sous une pression déterminée, soit rendu tout à fait indépendant des variations qui peuvent avoir lieu, soit dans le niveau d'eau, soit dans la forme ou la direction du canal;

3° Faire en sorte que l'appareil en question se trouve à l'abri de toute fraude ou altération, qui aurait pour résultat de lui faire débiter une quantité d'eau plus grande que la quantité effectivement concédée, comme cela avait toujours eu lieu jusqu'alors dans le pays.

D'autres conditions accessoires étaient encore demandées à l'inventeur du module destiné à régler les eaux du Milanais. Je n'ai cité que les précédentes, parce qu'elles sont fondamentales; et qu'elles prouvent qu'il y a trois cents ans, on comprenait tout aussi bien que nous le comprenons aujourd'hui, le but que doit remplir un régulateur.

Tel était l'état des choses lorsque fut appliqué, en 1572, l'appareil inventé par Soldati, et connu depuis sous le nom de *module magistral* du Milanais. En parlant, précédemment, de la régularisation des anciennes bouches du Naviglio-Grande, j'ai fait connaître les difficultés que l'on a eu à vaincre pour parvenir à une application générale de ce module. Les mêmes documents forment donc le

complément naturel de cet historique, auquel, en conséquence, je n'ajouterai rien de plus.

§ II. *Description de l'appareil.*

L'once d'eau, telle qu'elle est donnée par le module du Milanais, est la quantité de liquide qui coule librement, c'est-à-dire sous l'influence de la seule pression, par une bouche rectangulaire, ayant 4 onces ($0^m,20$) de hauteur uniforme, et 3 onces ($0^m,15$) de largeur; avec une pression constante de 2 onces ($0^m,10$) sur le bord supérieur de l'orifice.

La bouche d'une once, dans le système milanais, a donc la dimension et la disposition indiquées fig. 8, pl. XVI. Toutes les conditions essentielles de ce module doivent être soigneusement observées. Une des principales est le maintien de la hauteur constante de l'orifice régulateur, fixée à $0^m,20$. Ainsi, pour les orifices d'une portée de plusieurs onces, au lieu de donner seulement à la bouche, comme nous avons vu que cela se faisait ailleurs, une section convenable, sans s'occuper de ses dimensions, on a toujours soin que ce soit la largeur seule qui varie; et l'on donne alors à cette largeur autant de fois 3 onces linéaires, ou $0^m,15$, que l'on veut avoir d'onces d'eau dans le module, en maintenant toujours la hauteur constante de $0^m,20$, ainsi que la pression de $0^m,10$ sur le bord supérieur de la bouche.

La fig. 9 représente une bouche de 6 onces, dont la largeur totale est de $0^m,90$. J'expliquerai dans le paragraphe suivant par quel motif les bouches d'une plus grande portée, telles que celles qui sont représentées fig. 10 et fig. 11, se font toujours en plusieurs orifices.

Les bouches de ce système sont taillées au ciseau, dans une seule dalle en pierre dure, dont la nature varie, dans le Milanais, entre le marbre, le granit, le schiste micacé, et autres espèces de roches, que l'on a l'avantage de trouver, dans la localité, avec une structure lamellaire qui en facilite beaucoup l'exploitation et le travail. De plus, dans les modules construits avec tout le soin désirable, le périmètre de ces bouches est encore déterminé par un cadre de fer ou de fonte, qui s'y enchâsse exactement. Les bouches sont toujours percées dans de simples parois, qui ne comportent aucun ajutage ni autre accessoire quelconque destiné à y faciliter l'écoulement. Quant à l'épaisseur de ces parois, il n'y a pas de prescriptions à cet égard. Dans la pratique, les épaisseurs varient avec la longueur des dalles, c'est-à-dire avec la portée des bouches. Il importe néanmoins à l'entière exactitude d'un module que cette dimension soit déterminée comme toutes les autres.

Tels sont les principes établis en ce qui concerne les bouches. Je vais maintenant expliquer, à l'aide des figures 13 et 14, pl. IX, les dispositions de l'ap-

pareil qui ont pour objet de placer l'écoulement de l'eau dans des situations aussi identiques que possible, tant en amont qu'en aval de ces bouches.

Sur la rive du canal alimentaire, la prise d'eau proprement dite, *a b*, fig. 14, est toujours formée par deux murs latéraux, ou jouées, en bonne maçonnerie, soit de briques, soit de pierre de taille. Le seuil de cette prise d'eau se place généralement au niveau même du fond du canal susdit; et pour peu que la nature du sol réclame cette précaution, on a soin de le munir d'un pavé ou radier, en blocages ou en dalles, sur toute l'étendue qui pourrait être menacée d'affouillements. L'ouverture *a b* de la prise d'eau se fait ordinairement égale en largeur à celle de la bouche proprement dite, qui est placée en *p q*. Quant à sa hauteur, elle n'est pas limitée à l'extérieur de l'édifice.

La partie fondamentale de l'appareil consiste dans la vanne hydrométrique, placée à l'origine même de la prise d'eau. Les explications que j'ai précédemment données, sur les fonctions de cette vanne, me dispensent d'en parler de nouveau ici. Elle a pour but de procurer toujours, au-dessus du bord supérieur de la bouche *g h* (fig. 13), la pression normale de 2 onces, ou de $0^m,10$.

Dans le Milanais, les deux grands cours d'eau, qui alimentent à la fois la navigation, les usines et les arrosages, jouissent de la propriété précieuse d'avoir, dans chaque saison, des niveaux très-peu

variables, sauf, toutefois, les grandes crues qui y surviennent extraordinairement. On profite de cet avantage pour donner une garantie de plus à la disposition des vannes hydrométriques, en y adaptant, à la hauteur convenable, la petite console, mentonnet, ou arrêt, désigné dans le pays sous le nom de *gattello*, et que l'on peut remarquer dans la vanne du module milanais, représenté pl. XIV, fig. 4. Cette disposition, qui est très-bonne, ne pourrait pas s'appliquer avantageusement aux canaux qui sont sujets à de fréquentes variations dans leur niveau.

Dans les pays où l'on ne tire que médiocrement parti des eaux d'arrosage, cette précaution serait sans objet. Il serait même plus nuisible qu'utile de prendre tant de soins, pour ôter aux usagers la chance de profiter des excédants de pression qui surviendraient accidentellement, si les eaux, ainsi économisées, ne devaient avoir d'autre destination que de s'écouler inutilement à la mer. Il n'en est pas ainsi dans le Milanais, où l'aménagement des canaux a été l'objet de soins minutieux, et où l'administration trouve à tirer parti, par des concessions éventuelles et précaires, même des eaux qui n'ont qu'une existence accidentelle, et dont le volume n'est jamais connu à l'avance. Il y a des localités où ces sortes de concessions sont, chaque année, d'un très-grand produit.

D'autres dispositions accessoires, qui sont parti-

culières à l'appareil milanais, viennent concourir, avec la vanne hydrométrique, à assurer autant que possible l'uniformité du débit des bouches régulatrices. Ces dispositions sont les suivantes :

De part et d'autre de la bouche, le canal de dérivation, toujours construit en maçonnerie, présente deux sas (*trombe*), distincts par leur forme et leurs dimensions. Le premier sas, qui se nomme sas couvert (*tromba coperta*), est situé entre la vanne de prise d'eau et le module. Il a dans son état normal 10 bras ou $6^m,00$ de longueur. Quant à sa largeur rectangulaire, qui est nécessairement variable avec la portée plus ou moins grande des bouches, elle s'obtient en formant, de chaque côté, une retraite de 5 onces, ou de $0^m,25$, en sus de la largeur de la bouche. D'où il résulte que le sas couvert, d'une longueur fixe de 6 mètres, a toujours, pour largeur, $0^m,50$ en sus de celle de ladite bouche.

Une des dispositions caractéristiques du sas couvert consiste en ce que le fond, ou radier, est disposé en rampe, suivant une inclinaison totale de 8 onces ou de $0^m,40$, à partir du seuil de la vanne de prise d'eau, ou du fond du canal alimentaire, jusqu'au bord inférieur de la bouche. Une autre disposition accessoire qui appartient à la même partie de l'appareil, est le plan *c d*, nommé dans le Milanais *piano morto*, ce qu'on ne peut guère rendre en français que par l'expression de plancher amortisseur. Étant

établi horizontalement, à la hauteur même du niveau constant, qui doit donner $0^m,10$ de pression sur le bord supérieur de la bouche, ce plancher a pour objet, non-seulement de limiter les exhaussements que pourrait accidentellement recevoir cette pression, mais encore de supprimer, autant que possible, le mouvement ou l'agitation que l'eau, introduite dans le sas couvert, y éprouve quand sa surface est libre. Ce plan sert donc à amortir, et suivant l'expression du pays, à étouffer (*soffocare*) les mouvements que l'eau, arrivant par le dessous de la vanne, tend toujours à prendre aux abords de la bouche.

L'entrée du sas couvert, derrière la vanne de prise d'eau, est formée, supérieurement, par une dalle, d'épaisseur convenable, ayant sa face inférieure arasée au même niveau que le bord supérieur de la bouche; c'est-à-dire que cette dalle, dont on voit la section représentée fig. 13, plonge de $0^m,10$ dans l'eau, dont le niveau vient affleurer le dessous du plancher amortisseur. La hauteur constante des bouches dans ce système étant de $0^m,20$, et l'inclinaison du radier du sas couvert de $0^m,40$, il en résulte que le dessous de la dalle de tête sus-mentionnée est elle-même placée à une hauteur constante de $0^m,60$ au-dessus du seuil de la vanne de prise d'eau, ou du fond naturel du canal alimentaire.

Afin de pouvoir vérifier l'existence et le maintien

de la pression constante de $0^m,10$, soit au-dessus du bord supérieur de l'orifice régulateur, soit au-dessus de la face inférieure de la dalle, on ménage entre la vanne hydrométrique et le parement antérieur de cette dalle, formant la tête d'amont du pontceau qui recouvre le sas, un petit espace vide, à l'aide duquel on peut, au moyen d'une simple règle ou baguette, reconnaître aisément si la hauteur d'eau est bien de $0^m,70$ au-dessus du radier derrière la vanne.

Immédiatement en aval de la bouche commence le sas découvert (*tromba scoperta*). Sa largeur à son origine est, de chaque côté, de 2 onces ou de $0^m,10$ en sus de celle de cet orifice; sa longueur ordinaire est de 9 bras ou de $5^m,40$; et avec cette dimension, sa largeur à l'extrémité d'aval est de $0^m,30$ plus considérable que celle d'amont; ce qui représente un évasement de 3 onces ou de $0^m,15$, pour chacun des bajoyers, qui sont verticaux comme ceux du sas couvert. La largeur du sas découvert, à l'extrémité inférieure, et donc de $0^m,50$ en sus de celle de la bouche régulatrice, comme cela a lieu uniformément dans le sas d'amont. Le fond ou radier du sas découvert commence avec une petite chute de 1 once, ou de $0^m,05$, en contre-bas du bord, ou de la lèvre inférieure de la bouche; puis une autre chute pareille est répartie, suivant une pente uniforme, sur la longueur susdite de $5^m,40$. Enfin, à partir de cette extrémité inférieure du sas décou-

vert, l'origine du canal de dérivation qui lui succède n'est plus assujettie à aucune règle, et reste entièrement à la disposition des usagers. En effet, sans que cela ait d'influence appréciable sur son débit, l'eau, conduite comme on vient de le voir, jusqu'à l'extrémité de l'édifice régulateur, peut couler ensuite, sur le fond du canal, ou tout à fait de niveau avec la partie inférieure du radier du sas découvert, ainsi que cela se voit fréquemment, ou avec une chute plus ou moins considérable, comme cela se remarque dans les modules représentés pl. XIII, fig. 1, et pl. XIV, fig. 4.

Indépendamment de l'influence de la vanne hydrométrique, dont le mécanisme a été suffisamment expliqué, l'action combinée du plancher amortisseur et de l'acclivité ou rampe du fond du sas couvert est évidemment très-puissante, sinon pour détruire entièrement, au moins pour atténuer beaucoup les mouvements irréguliers, et surtout l'agitation superficielle, que l'eau tend à prendre en entrant dans le premier sas, sous l'influence du niveau plus élevé de celle du canal alimentaire. Par cet artifice, le liquide, en arrivant au module, ne conserve plus que le simple mouvement progressif, qui est nécessaire pour maintenir la continuité de l'écoulement.

D'après les détails donnés ci-dessus, on voit que l'édifice régulateur usité dans le Milanais a une lon-

gueur fixe, qui est d'environ 11^{m},50, et une largeur variable, proportionnée à celle de la bouche à régler. Pour une bouche d'une once, par exemple, la largeur intérieure du sas couvert est de 0^{m},65, tandis que la largeur du sas découvert est de 0^{m},35 à son extrémité supérieure, et de 0^{m},65 à son extrémité d'aval, eu égard à l'évasement.

Pour assurer, d'une manière efficace, la manœuvre de la vanne hydrométrique, il faut une différence d'au moins 0^{m},20 entre le niveau d'eau dans le canal alimentaire et le niveau constant, à obtenir dans l'intérieur de l'appareil, derrière ladite vanne. Cela suppose alors une hauteur d'eau minimum de 0^{m},90 dans le canal susdit, et dans cette hypothèse les niveaux ou hauteurs des diverses parties de l'édifice, tel qu'il vient d'être décrit, étant rapportés au-dessus du fond du canal dispensateur, auront entre eux les relations suivantes :

Fond du canal.	0^{m},00
Niveau d'eau extérieur.	0^{m},90
Niveau d'eau intérieur, donnant la pression constante.	0^{m},70
Dessous de la dalle de tête du sas couvert, et bord supérieur de la bouche.	0^{m},60
Bord inférieur de cette bouche, à l'ex-	

trémité de la rampe du radier du sas couvert. 0m,40

Niveau du radier à l'origine du sas découvert. 0m,35

Id., à son extrémité d'aval. . . . 0m,30

Finalement, en ce qui touche les divers niveaux du fond de l'appareil, on voit que le mécanisme du module milanais fait franchir à l'eau, dans un trajet de 11m,50 de longueur, une rampe totale de 0m,40, qui se trouve réduite à 0m,30 à la sortie dudit module; et qu'en ce dernier point elle est entièrement abandonnée à la libre disposition des usagers.

Dans la pratique, on s'écarte plus ou moins de celles des dispositions précédentes qui ne paraissent pas rigoureusement obligatoires. Ainsi, tout en observant soigneusement les dimensions prescrites pour les retraites qui fixent la largeur des sas, en rapport avec celle de la bouche, on ne tient pas autant au maintien des longueurs. Sur le grand nombre d'édifices régulateurs que j'ai eu occasion de visiter, j'en ai peu vu dont les sas eussent exactement les longueurs normales. On peut remarquer que les deux ouvrages de ce genre qui sont représentés pl. XIII et XIV, se trouvent dans ce cas. Cependant ils sont d'une date récente, et appartiennent, l'un au canal Marocco, l'autre

au canal Taverna, situés l'un et l'autre dans la province de Milan; et les bouches qu'ils comportent, l'une de six onces, l'autre de dix onces, sont réputées être exactement modellées.

Le plancher, constituant le sas couvert, manque dans un grand nombre des modules qui fonctionnent dans les provinces de Milan et de Pavie. Enfin, la rampe de $0^m,40$ que doit former le radier du premier sas, depuis le seuil de la vanne jusqu'au bord inférieur de la bouche, est encore une disposition qu'on trouve fréquemment négligée; c'est-à-dire qu'au lieu d'être en rampe, ce radier est horizontal; mais alors le bord susdit de l'orifice se trouve toujours exactement à $0^m,40$ au-dessus, car autrement il y aurait une altération notable dans tout le système, tandis que cette hauteur étant bien maintenue, la différence peut ne pas être très-sensible. Néanmoins il est certain que, du moment qu'on adopte un appareil régulateur, destiné à fournir une unité invariable, dans l'importante distribution des eaux d'arrosage, il est indispensable qu'il soit d'une justesse aussi rigoureuse que possible, et que, dès lors, rien de facultatif n'existe dans sa construction. Mais si les petites modifications dont il s'agit ici ne peuvent avoir une influence bien grande sur le débit normal du module milanais, il n'en est pas de même d'une imperfection notable qui y

existe, et dont il est question dans le paragraphe suivant.

§ III. *Du débit réel des bouches de différentes portées.*

Le module milanais passe avec raison pour le plus exact de tous ceux qui sont connus jusqu'à ce jour. Les détails qui viennent d'être donnés sur sa construction ne peuvent que justifier cette manière de voir. Cependant il est facile de reconnaître que ce module, dans son état actuel, comporte encore une imperfection grave, donnant lieu dans le débit des eaux, par les bouches qu'on regarde comme réglées, à des différences trop notables pour pouvoir être passées sous silence. Une circonstance me frappa dès les premières études que j'ai faites sur les eaux du Milanais : en m'informant, près des praticiens les plus expérimentés, de l'évaluation qu'il était convenable d'admettre pour le produit effectif du volume d'eau correspondant à l'once magistrale, je ne trouvai point de concordance dans leurs indications. Quelques ingénieurs m'ont parlé de $2^{m.c.},16$ à $2^{m.c.},28$ par minute, c'est-à-dire de 36 à 38 litres d'eau par seconde ; d'autres m'ont donné, comme exacte et officielle, l'évaluation de $2^{m.c.},76$ à $2^{m.c.},88$ par minute, c'est-à-dire de 46 à 48 litres par seconde.

Le fait est que les experts ou ingénieurs des par-

ticuliers n'évaluent généralement, dans leurs rapports et estimations, le débit de l'once milanaise que de 36 à 40 litres par seconde, tandis que les ingénieurs du gouvernement estiment ce débit à un chiffre bien plus élevé. L'évaluation consignée dans la dernière statistique, dressée par l'administration des travaux publics à Milan, est de $2^{m},80$ par minute, ou de 47 litres par seconde. En recherchant les causes de cette différence, j'ai reconnu qu'elle n'était fondée sur aucune erreur, mais qu'elle était due à la différence réelle qui, malgré toutes les garanties du module milanais, existe entre le débit des petites et des grandes bouches.

Les experts, appelés à prononcer dans des contestations entre particuliers, ont généralement à opérer sur de petits volumes d'eau, et comme la plupart des expériences spéciales, faites dans le but d'évaluer le produit en question, ont porté sur des bouches d'une ou deux onces, c'est une tradition admise chez le plus grand nombre d'ingénieurs hydrauliciens de ce pays, que le débit normal d'une once d'eau ne doit pas être évalué au delà de 36 à 38 litres par seconde.

Cependant l'administration publique, chargée de la gestion des grands canaux de navigation et d'arrosage du Milanais, n'a pas tardé à s'apercevoir que ce chiffre était trop faible, et que si on l'adoptait comme règle, sur le Naviglio-Grande, par

exemple, il y aurait une différence de plus d'un tiers, au préjudice de l'État; attendu que les volumes d'eau débités par les bouches, même réglées, ne concorderaient plus nullement avec la portée, d'ailleurs parfaitement connue, de ce canal.

Ceci peut s'expliquer par une cause simple : le Naviglio-Grande dessert principalement des bouches d'une grande portée; il en a de 30 et de 36 onces, et leur portée moyenne n'est pas au-dessous de 8 à 10 onces. Or, toutes circonstances égales d'ailleurs, quant à la hauteur des orifices, et à celle du niveau de l'eau qui s'en écoule, il n'y a pas évidemment identité parfaite entre le produit d'une once d'eau, mesurée dans un seul petit orifice de $0^m,20$ de hauteur sur 0,15 de largeur, et le produit d'une once d'eau, considérée comme fraction du débit d'un orifice de même hauteur, mais ayant cinq, six, ou huit fois autant de largeur. Car, en augmentant ainsi la largeur des bouches, comme cela est de règle pour la distribution de plusieurs onces d'eau, le rapport entre les périmètres et les sections ne reste pas le même; et l'influence de ce périmètre, qui agit sur la contraction de l'eau, diminue graduellement à mesure que l'orifice augmente : cela explique comment le produit correspondant à l'unité de section doit augmenter lui-même dans une proportion assez rapide.

Le tableau suivant rend cette observation parfaitement sensible.

PORTÉES des bouches en onces mil.	DIMENSIONS.	SECTIONS.	PÉRIMÈTRES.	RAPPORTS du périmètre à la section.
1 onc.	$0^m,20$—$0^m,15$	$0^m,03$	$0^m,70$	23,33
2	$0^m,20$—$0^m,30$	$0^m,06$	$1^m,00$	16,66
3	$0^m,20$—$0^m,45$	$0^m,09$	$1^m,30$	14,44
4	$0^m,20$—$0^m,60$	$0^m,12$	$1^m,60$	13,33
5	$0^m,20$—$0^m,75$	$0^m,15$	$1^m,90$	12,66
6	$0^m,20$—$0^m,90$	$0^m,18$	$2^m,20$	12,22
7	$0^m,20$—$1^m,05$	$0^m,21$	$2^m,50$	12,09
8	$0^m,20$—$1^m,20$	$0^m,24$	$2^m,80$	11,66
9	$0^m,20$—$1^m,35$	$0^m,27$	$3^m,10$	11,48
10	$0^m,20$—$1^m,50$	$0^m,30$	$3^m,40$	11,33

On voit, d'après ce tableau, qu'au fur et à mesure de l'augmentation de la portée des bouches, il y a une diminution progressive du rapport existant entre le périmètre et la section, et que, si l'on passe seulement d'une bouche d'une once à une bouche de huit onces, ce rapport est déjà réduit à moitié de sa valeur primitive. Enfin, si l'on continuait cette série, on trouverait que, pour une bouche de 20 onces, le rapport n'est plus que de 10,66 ; pour

30 onces, de 10,04; pour 50 onces, de 10,27, et ainsi de suite.

Je me suis au surplus assuré, par des observations directes, que la différence qui vient d'être signalée existe, bien réellement, entre le débit des grandes et celui des petites bouches.

C'est là à la fois un grand inconvénient pratique, et un signe d'imperfection, dans le plus complet cependant des régulateurs connus jusqu'à ce jour. Car cela prouve que le module milanais est en défaut sur la huitième des conditions fondamentales, énoncées dans le § 2 du chapitre XIV, qui précède.

Cette imperfection est fâcheuse, en ce qu'elle établit en faveur des grandes bouches un avantage notable et non motivé; qu'elle nuit à l'uniformité des concessions; et qu'elle peut donner lieu à des abus. En voici un exemple très-simple : Six riverains, propriétaires de chacun une quarantaine d'hectares, le long d'un canal d'irrigation, ont besoin d'acquérir individuellement, du propriétaire de ce canal, la jouissance d'une once d'eau, pour l'amélioration de leur héritage. Cette quantité d'eau, débitée par des bouches séparées, sera, pour chaque bouche d'une once, d'après l'estimation moyenne des experts milanais, de 37 litres par seconde; total, pour les 6 onces, 222 litres. Supposons que ces riverains se réunissent pour demander une prise d'eau commune, en une seule bouche, ce

qu'on ne pourra pas leur refuser; alors ils auront droit, pour le même prix total, à une bouche dont le débit par seconde sera, d'après les estimations de l'administration milanaise, de 47 litres par once, ou en tout 282 litres. Différence en plus, 60 litres, ou environ une once et demie d'eau. Dans le Milanais, cette eau, sur le pied de 12.000 francs l'once, en capital, ou de 550 francs, en location annuelle, représente, au préjudice du vendeur, une perte de 18,000 francs, ou de 825 francs de rente. Dans bien d'autres pays, où l'eau d'irrigation a une valeur plus élevée, la différence serait encore plus notable.

L'imperfection que je viens de signaler existe au même degré dans tous les modules connus jusqu'à ce jour. Dans le Piémont et dans les provinces milanaises, où l'on fait de louables efforts pour assurer le mieux possible la bonne distribution des eaux, on cherche à suppléer à cet inconvénient, de l'augmentation relative du débit des grandes bouches, en limitant leurs dimensions d'une manière absolue. Ainsi, aujourd'hui, sur les canaux domaniaux des provinces de Milan et de Pavie, on fixe formellement, dans toutes les concessions nouvelles, à 6 onces la portée maximum des bouches de prise d'eau, d'un seul volume. Une disposition analogue est aussi adoptée dans le Piémont, où l'administration royale des finances ne concède plus de bouches dépassant une portée équivalente à 6 ou 7 onces de Milan.

D'après cela, une bouche de 12 onces milanaises se dispose en deux orifices pareils, de chacun 6 onces, comme cela est représenté pl. XVI, fig. 10. La planche XIV, fig. 4, 5 et 8, représente une bouche de 6 onces, pourvue d'un régulateur complet, sur le canal Marocco, situé dans les provinces de Milan et de Pavie. La planche XIII, fig. 1, 2 et 6, représente une bouche semblable, également modellée dans le système milanais. Quoique l'établissement de cette bouche, qui est une des principales prises d'eau du Cavo-Taverna, dans le canal de la Martesana, ne date que de quelques années; elle a été tolérée, exceptionnellement, avec une portée de 10 onces, d'un seul volume; il est probable qu'aujourd'hui, si elle était à faire, on la prescrirait en deux ouvertures.

Très-anciennement on avait reconnu la différence existant entre le débit relatif des grandes et des petites bouches; car j'ai fait remarquer dans le chapitre précédent, en parlant du module de Crémone, que dès son invention, vers le milieu du XVIe siècle, on avait jugé prudent de fixer la limite des bouches de ce système à une dimension de $0^m,40$ de hauteur, sur $0^m,97$ de largeur; ce qui équivalait à peu près à un débit de 12 à 13 onces du Milanais. Dans ce dernier pays, la plupart des concessions faites depuis la fin du XVe siècle jusqu'à nos jours, comportent une limitation qui va ordinairement de 9 à 12 onces. On en voit un exemple

sur la prise d'eau de 27 onces, représentée pl. XVI, fig. 11. C'est la plus considérable des quatre-vingt-cinq bouches du canal de la Martesana, dont le Naviglio-Interno forme le prolongement dans la ville de Milan. Elle est divisée en trois bouches égales, d'une portée de chacune 9 onces. Il en était à peu près de même dans le Piémont. Mais, depuis une époque assez ancienne, on y a limité les bouches d'un seul volume à 6 ou 7 onces du pays, ce qui est bien au-dessous du débit de 6 onces milanaises. On voit dans la planche XII, fig. 2, un régulateur pour une prise d'eau, d'une roue ou de 12 onces de Piémont, sur le canal de Saluggia. Cette prise d'eau est disposée en deux bouches égales, de 6 onces chacune.

En somme, on voit donc que, dans les États du nord de l'Italie les mieux administrés sous le rapport de la distribution et de l'usage des eaux, c'est seulement en restreignant à 6 onces, ou à environ 250 litres par seconde, la portée des bouches d'un seul volume, que l'on a cherché jusqu'à présent à se prémunir contre les conséquences fâcheuses résultant de l'inégalité du débit des grandes et des petites bouches. Et cependant dans les limites de 1 à 6 onces, l'inégalité est encore très-notable, puisqu'elle atteint le débit primitif d'une once et demie, et qu'à l'aide de cet exemple même, je viens de démontrer que, seulement sur ce volume minime, le préjudice pour le propriétaire du canal

peut être de 18,000 francs, sur l'aliénation définitive de ce volume d'eau, ou de 825 francs sur sa location annuelle.

Si cette imperfection était sans remède, il n'y aurait qu'un seul moyen d'arriver à la régularité désirée; ce serait de dresser, d'après des expériences directes, des tables, donnant le débit exact des bouches de différentes dimensions, dans la limite des concessions autorisées. Mais je ne pense pas qu'il soit nécessaire de recourir à ce moyen, d'après lequel on n'aurait plus de module d'eau, ou d'unité proprement dite. Car je crois qu'un très-léger perfectionnement dans la disposition des bouches actuellement en usage suffirait pour garantir l'uniformité d'un débit normal, qui soit indépendant de la portée plus ou moins grande des prises d'eau. Je ferai connaître un moyen qui pourrait être adopté pour arriver à ce but, en même temps que je donnerai, ultérieurement, d'après le résultat d'une expérience que je dois achever, la description de l'appareil régulateur débitant un demi-hectolitre d'eau par seconde, et qui paraît être le plus convenable, à adopter en France, pour la distribution des eaux courantes, destinées aux usages agricoles ou industriels.

LIVRE CINQUIÈME.

TRACÉ,

ÉTABLISSEMENT

ET

ENTRETIEN

DES CANAUX.

Digitized by Google

Google

CHAPITRE VINGTIÈME.

DIVERSES ESPÈCES DE CANAUX; TRACÉ ET OPÉRATIONS PRÉALABLES.

§ I. *Considérations préliminaires.*

Parmi les opérations qui réclament le concours de la science des ingénieurs, le tracé d'un canal d'arrosage est une des plus importantes et des plus difficiles. Lors même que les canaux de cette espèce doivent servir à la fois à la navigation et aux arrosages, ils diffèrent essentiellement, dans leur tracé, de ceux de simple navigation. On doit remarquer en effet qu'ils ne sont pas seulement des canaux *de* dérivation, mais surtout des canaux *à* dérivations; c'est-à-dire à dérivations faciles, qu'on doit pouvoir y effectuer en aussi grande quantité qu'on le désire, et sans le secours d'aucun barrage. Il faut donc que leur plan d'eau règne toujours à une certaine hauteur au-dessus du niveau des terrains qui doivent profiter de l'arrosage. Cette circonstance caractérise particulièrement les canaux d'irrigation, et les fait différer des voies navigables, qui ne sont point assujetties à une telle condition. Or, elle modifie à la fois les règles de leur tracé, et les difficultés de leur exécution. Car, tandis que

les autres canaux s'établissent, généralement, plutôt en déblai qu'en remblai, tandis qu'on peut leur faire occuper le fond des vallées, dans le but de diminuer, autant que possible, les filtrations ou pertes d'eau, les dégradations et ruptures de digues, les canaux d'irrigation ne jouissent pas du même avantage. Ils doivent au contraire s'éloigner toujours des thalwegs, puisqu'il faut, qu'à leur origine on les tienne, à mi-côte, aussi élevés que possible sur le flanc des vallées; et que, dans le reste de leur trajet, on puisse les maintenir, ou dans une situation analogue, ou presque toujours en remblai.

Les propriétaires qui possèdent des prairies traversées par des ruisseaux, et qui n'ont en vue que de petits arrosages, pensent communément que l'irrigation pourrait s'effectuer, sur une grande échelle, à l'aide de saignées partielles, c'est-à-dire au moyen de prises d'eau directes, faites par les riverains, sur les eaux courantes qui existent naturellement sur leurs héritages. Cela se peut, il est vrai, dans un petit nombre de cas; mais on ne saurait trouver dans cette manière de procéder que des ressources extrêmement bornées, et en voici les motifs.

A bien peu d'exceptions près, toutes les eaux courantes naturelles occupent le fond ou le thalweg de leur vallée; c'est le vœu de la nature. Par conséquent, ces cours d'eau ne se prêtent que d'une manière défavorable aux arrosages par dérivation

directe, dont il vient d'être question. En supposant même qu'ils remplissent la condition qui est fondamentale pour l'objet dont il s'agit, celle d'une pente considérable, il n'est pas moins vrai qu'étant situés à la jonction inférieure de deux versants opposés, il faut toujours que, même avec le secours d'un barrage, les eaux de la dérivation soient conduites jusqu'à une distance plus ou moins grande, avant de rencontrer le terrain sur lequel on peut convenablement les répandre. En d'autres termes, l'emplacement de l'arrosage diffère toujours de celui de la prise d'eau, et le propriétaire du sol à irriger est rarement le même que le propriétaire du terrain qui convient pour l'embouchure de la dérivation. Cette circonstance seule aurait pour effet de paralyser plus des trois quarts des irrigations de ce système.

Mais ce n'est pas l'unique motif qui rende leur emploi défavorable. En effet, chaque dérivation partielle, chaque petite saignée, exige généralement un barrage; ce barrage entraîne des frais de construction, des frais de curage et de surveillance; il est plus ou moins exposé aux accidents, souvent même à une destruction totale, par l'effet des crues qui sont inséparables des eaux courantes naturelles. Sur le plus grand nombre des petits cours d'eau, l'influence de l'étiage est de rendre entièrement nulles, pendant l'été, les ressources qu'ils ne présentent qu'en hiver et au printemps. Étant des

ramifications d'un ordre inférieur, leurs pentes sont ordinairement très-atténuées ou réduites. Et enfin, pour qu'on les rencontre hors de la ligne des points les plus bas du terrain environnant, il faut, ou qu'ils soient tout à fait torrentiels, ou qu'ils charrient une énorme proportion de vase et de graviers; ce qui amène alors dans leur direction une instabilité et des modifications très-contraires à tout usage des eaux.

On conçoit donc, d'après cela, que les conditions de l'arrosage doivent être moins avantageuses lorsqu'il s'effectue de cette manière, que lorsqu'il a lieu au moyen d'un canal principal, n'exigeant qu'une seule prise d'eau, qu'un seul barrage, et étant surtout essentiellement placé, dans la localité irrigable, de telle sorte que les propriétaires intéressés n'aient plus qu'à réclamer la quantité d'eau dont ils ont besoin, pour qu'elle leur soit aussitôt livrée, au moyen d'une simple dérivation, ne réclamant rien autre chose que l'application de l'appareil régulateur, avec lequel on a la certitude de fournir exactement à chacun la quantité d'eau qui lui revient.

Tel est le but des canaux d'arrosage. Chaque pays peut prétendre à leur création, sur une échelle plus ou moins grande, suivant ses ressources financières, suivant les avantages naturels de sa situation, suivant les profits qu'il en espère; mais enfin, ce sont les canaux proprement dits, tels que je viens de les définir, et non les petites saignées, faites

çà et là, sur les cours d'eau naturels, qui sont capables d'améliorer, d'une manière notable, la situation agricole d'un pays.

§ II. *Diverses espèces de canaux nécessaires à l'établissement d'un système d'arrosage.*

On doit distinguer principalement les six classes suivantes, savoir :

1° Les canaux principaux, ou canaux d'irrigation proprement dits ;

2° Les canaux secondaires ;

3° Les canaux de fuite ou de décharge ;

4° Les colateurs ;

5° Les rigoles de distribution ;

6° Les canaux servant à la navigation et aux arrosages.

Enfin on peut placer dans une septième classe les canaux destinés au colmatage des bas-fonds ou terrains marécageux, opération dont les avantages se combinent presque toujours avec ceux de l'irrigation. Je dirai succinctement quelques mots sur chaque espèce.

Canaux principaux. — Le canal principal a sa prise d'eau établie directement sur la rive d'un fleuve ou d'une rivière, au moyen d'un système d'ouvrages d'art, dont il va être parlé au chapitre suivant. Il présente ordinairement deux parties distinctes, dont l'une est comprise entre la prise

d'eau et les terrains dont le niveau se trouve assez bas pour qu'ils puissent prendre part à l'arrosage; la seconde, qui commence aux premières bouches de distribution, comprend tout le reste du canal, avec les ramifications qu'il peut avoir. La première partie, celle où il n'existe pas de bouches, n'a que la destination d'un canal d'amenée; elle conserve en conséquence une largeur et une section constantes. La seconde partie, celle où ces bouches existent, en plus ou moins grande quantité, est le canal d'arrosage proprement dit. Il a pour caractère distinctif des largeurs qui décroissent successivement, au fur et à mesure que la portée d'eau diminue, par la consommation qui s'en fait, au profit des canaux secondaires.

Dans les dérivations importantes, le canal d'amenée a quelquefois une longueur considérable; c'est en effet le seul moyen que l'on ait de conduire les eaux sur le sol à arroser, avec une pente suffisante, tout en plaçant le seuil de l'embouchure assez bas pour que le canal reçoive encore un volume d'eau suffisant en temps d'étiage, si le cours d'eau où il s'alimente y est sujet. La nécessité de cette précaution, qui n'avait pas été suffisamment observée, s'est fait sentir sur la plupart des canaux alimentés par la Durance, rivière extrêmement variable, qui a son étiage en automne. Ces dérivations, faute d'un canal d'amenée suffisant, subissaient, dans la saison la plus importante pour l'arrosage, des

époques de pénurie extrêmement préjudiciables à l'agriculture; de sorte que, dans ces derniers temps, toutes les prises d'eau ont été remontées, ou vont l'être, à plusieurs kilomètres en amont de leur position primitive. Cela prouve bien que, dans les projets de canaux, alimentés par des cours d'eau sujets à étiage, on ne doit jamais craindre d'admettre, de suite, un canal d'amenée d'une longueur suffisante.

Canaux secondaires et rigoles. — Les canaux secondaires sont, relativement au canal principal, ce qu'il est lui-même relativement à la rivière dont il dérive; à l'exception des prises d'eau, qui deviennent de simples bouches, sans barrage, mais pourvues d'un module régulateur. Ces canaux doivent être maintenus sur la partie la plus haute des terrains à arroser. Ils sont ordinairement établis aux frais des usagers; à moins cependant que l'entrepreneur du canal principal ne juge convenable d'établir lui-même, comme embranchements ou ramifications, un certain nombre de ces dérivations secondaires, là où il croit avoir de l'avantage à distribuer les eaux plus en détail. Quant aux simples rigoles, elles sont toujours aux frais des arrosants, qui les disposent suivant les dimensions et directions convenables, pour la superficie qu'ils ont à arroser.

Fuyants ou déchargeoirs. — Les canaux de fuite ou de décharge sont ceux qui ont pour objet d'assurer l'écoulement des eaux débitées par les

ouvrages régulateurs de leur niveau, dans un canal principal, tels que les déversoirs et les vannes de fond. Il n'y a rien de particulier à dire sur ces canaux, qui ne diffèrent en rien de ceux du même genre, existant sur les biefs d'usines. Toutes les fois qu'ils sont d'un niveau assez élevé, relativement aux terres riveraines, on ne manque pas d'utiliser leurs eaux pour l'arrosage; mais ordinairement cela ne peut se faire qu'à une assez grande distance en aval du point où ils prennent naissance.

Lors même qu'il n'y aurait, dans un canal d'arrosage, aucune surabondance d'eau, qui donnât lieu de faire fonctionner les ouvrages régulateurs, les canaux de fuite serviraient toujours, régulièrement deux fois chaque année, pour les mises à sec que nécessitent le faucardement et le curage.

Colateurs. — Les canaux d'écoulement, auxquels, d'après l'expression usitée en Italie, j'ai conservé le nom de colateurs, n'en voyant pas de meilleur à y substituer, donnent lieu à des considérations importantes. En principe, point de bonne irrigation sans pentes. On conçoit donc qu'à la partie inférieure, ou à la jonction des surfaces inclinées des terrains, qui, soit naturellement, soit de main d'homme, sont disposés pour l'arrosage, il est toujours nécessaire de ménager des canaux spéciaux, pour recevoir l'égouttement des terres ou le superflu des eaux, qui y ont été répandues. Ces canaux sont

les colateurs; ils diffèrent de ceux de fuite et de décharge, qui n'ont, relativement à eux, que le caractère d'affluents. Ils diffèrent encore davantage des canaux principaux et secondaires, puisque, dans les mouvements de terrain que réclame un système d'arrosage, ceux-ci sont placés sur des faîtes, tandis qu'eux-mêmes sont essentiellement dans les thalwegs.

Ils en diffèrent enfin sous un autre point de vue, également essentiel, en ce qui concerne leur largeur. Car, tandis qu'un canal d'arrosage voit sa section décroître, de proche en proche, par l'épuisement successif des eaux, le colateur qui dessert une contrée un peu étendue voit, au contraire, sa portée s'accroître d'une manière inverse. Tant qu'un canal fonctionne simplement comme colateur, on doit lui laisser toute la pente que comportent la disposition et la nature du terrain dans lequel il se trouve établi. On n'y admet généralement ni barrages, ni usines, ni rien en un mot qui puisse gêner le libre écoulement des eaux, et nuire ainsi à l'égouttement ou à l'assainissement des terrains arrosés, dont les parties inférieures tendent toujours à conserver un excédant d'humidité. Mais il n'en est plus ainsi lorsque les colateurs arrivent près des terrains d'un niveau assez bas pour qu'ils prennent eux-mêmes, au moyen de nouvelles dérivations, le caractère de canaux d'arrosage; alors ils y sont toujours utilisés; et l'on

opère sur ces nouveaux canaux de la même manière que sur les précédents, jusqu'à l'entier épuisement des eaux, qui doivent être, autant que possible, consommées en arrosages, avant d'arriver jusqu'aux bassins inférieurs des grands fleuves. C'est ainsi que le Pô, ce colateur général des plaines de l'Italie, ne reçoit véritablement presque rien, sur la masse énorme des dérivations supérieures, qui, sur les terres de sa rive gauche, sont employées en irrigations.

Voilà comment les eaux sont aménagées dans les pays où l'on a tenu à mettre complétement en valeur cette source précieuse d'améliorations agricoles.

Il ne serait pas possible d'opérer une bonne irrigation sans le secours des colateurs; car c'est par eux seuls que l'on peut assurer l'égouttement ou l'assainissement du terrain qui, s'il restait habituellement humide, ne pourrait produire que des herbes marécageuses, toujours nuisibles aux bestiaux. Mais il arrive quelquefois que l'on est dispensé d'ouvrir spécialement des canaux de cette espèce. Par exemple, quand vers l'origine même d'une dérivation, il existe des terrains irrigables, comme, après un très-petit trajet, le cours d'eau alimentaire se trouve toujours plus bas que le canal, et que là il est, en outre, à sa proximité, c'est lui qui sert de colateur. Quelquefois on rencontre, vers la partie inférieure des terrains à arroser, des ravins profonds, des gouffres ou entonnoirs, ou bien des

marais. Alors on y jette les colatures, sans s'inquiéter de ce qu'elles deviennent. Mais cependant, en ce qui touche les marais, comme il est dans l'ordre des choses, qu'un peu plus tôt un peu plus tard, on en vienne à entreprendre leur desséchement, il ne faut pas se dissimuler que l'on tend à accroître ainsi les dificultés et les frais de cette opération, en augmentant la masse des eaux qui sont dépourvues d'écoulement. Les exemples de ce fait ne sont pas rares en Provence, où les eaux des colatures, qui sont fort mal gouvernées, non-seulement ont porté préjudice à des entreprises de desséchement, mais, ce qui est pis encore, ont rendu marécageux de vastes terrains qui ne l'étaient pas.

Il arrive quelquefois que, voulant jeter les colatures, ou les eaux de fuite, dans un fleuve ou une rivière, on est gêné par les digues qui peuvent avoir été établies pour prévenir les dommages des crues et débordements de cette rivière. Dans ce cas, on doit opérer, comme cela se pratique dans les Wateringues du nord de la France, ou dans les Polders des Pays-Bas. Pendant le temps des crues, la communication entre les terrains à égoutter et la rivière est interceptée, par des vannes ou clapets; dès que les eaux se retirent, on les ouvre, et l'écoulement s'opère librement. Les pertuis à soupape, ou à portes tournantes sur des charnières horizontales, qui ont l'avantage de se manœuvrer seules, ne sont pas d'un bon usage, parce qu'il arrive que

des graviers, introduits dans les feuillures, laissent ordinairement des interstices, par lesquels les eaux d'inondation peuvent s'introduire sur les terres riveraines.

Canaux d'arrosage et de navigation. — C'est à eux surtout qu'il appartient de créer une source nouvelle de richesse, dans un grand nombre de localités, notamment dans le midi et dans le centre de la France. Ils sont les seuls qui offrent le rare avantage de procurer à l'eau courante, par la navigation, par l'arrosage et par les usines, un emploi triplement productif. Leur caractère essentiel consiste dans la forme de leurs écluses, qui présentent, à côté du sas ordinaire destiné au passage des bateaux, un pertuis, n'ayant d'autre usage que de transmettre, d'une manière tout à fait indépendante du mouvement de la navigation, les volumes d'eau réclamés par la consommation des bouches.

Des usines sont ordinairement placées sur les chutes mêmes que forment ces pertuis. Mais indépendamment de celles-là, on en autorise, sans aucun inconvénient, sur d'autres points; puisque, sauf de rares exceptions, elles rendent les eaux dans le lit même du canal, et qu'au moyen des pertuis de transmission, on a toujours la facilité de régler convenablement le niveau d'eau dans tous les biefs, sans recourir à la manœuvre des portes d'écluse. C'est donc véritablement l'absence de ces pertuis qui rend les usines presque inadmissibles

sur les canaux destinés au seul usage de la navigation.

Le canal de Pavie, dont l'achèvement est très-moderne, peut servir de modèle dans ce genre. La navigation, l'arrosage et les usines s'y trouvent réunis sans se nuire; et malgré une vitesse assez considérable de l'eau, dans ses biefs supérieurs, la navigation ascendante y est si peu gênée que des bateaux-postes, faisant le service entre Milan et Pavie, spécialement pour le transport des voyageurs, et attelés seulement de trois chevaux, descendent et remontent, plusieurs fois par jour, toute la ligne du canal, avec une vitesse minimum de plus de trois lieues à l'heure; ce qui est assurément un fait fort intéressant sur un canal d'irrigation.

Les ouvrages d'art qui s'y trouvent établis, notamment à la partie inférieure, sont remarquables par leur bonne conception et par leur exécution. Ceux qu'il y avait lieu de comprendre dans l'atlas ci-joint, n'en sont qu'une très-faible partie. Si ce canal n'était pas malheureusement sujet à de très-grandes filtrations, par suite de ce qu'il est ouvert dans un terrain de gravier, il représenterait un magnifique emploi du petit volume d'eau qui lui est livré avec une stricte mesure.

Mais, même malgré cet inconvénient, on doit reconnaître ici combien un volume d'eau médiocre est employé plus utilement dans un canal que dans un lit naturel. Nous voyons le canal de Pavie sub-

venir à une navigation très-active, à une belle irrigation, et au roulement de plusieurs usines; en un mot, desservir trois industries différentes, avec une portée maximum de moins de 7 mètres cubes par seconde; tandis qu'on rencontre fréquemment des rivières, comme la Saône, par exemple, dans lesquelles 12 ou 13 mètres cubes d'eau restent totalement sans usage pendant une grande partie de l'année, faute d'une profondeur uniforme qui y permette le passage des bateaux.

Ces considérations sur les canaux de navigation et d'arrosage se trouveront complétées dans le chapitre suivant, qui traite de la détermination des pentes, et de celle des sections. En même temps je parle aussi des canaux de colmatage, qui représentent eux-mêmes une classe de dérivations très-importante.

Résumé. — On peut donc récapituler ainsi, en quelques mots, les observations faites dans ce paragraphe sur les diverses espèces de canaux dont il vient d'être question :

Les canaux principaux, y compris leurs embranchements et les canaux secondaires, reçoivent les eaux destinées à l'irrigation;

Les canaux de fuite et de décharge servent à mettre à sec ces mêmes canaux, et à recevoir le trop plein de leurs eaux, avant qu'elles aient reçu aucun usage;

Les colateurs, qui occupent essentiellement le

niveau le plus bas parmi les ouvrages que nécessite un système d'arrosage, reçoivent le produit de tous les autres canaux; savoir: le produit direct des fuyants et déchargeoirs, puis le produit indirect des canaux et rigoles, qui leur arrive sous forme de colatures. On voit par là que les eaux de cette dernière espèce comprennent non-seulement celles qui, après l'irrigation effectuée, découlent de la surface du sol, mais encore celles qui arrivent dans les colateurs sous la forme d'égouttement, suintements, ou filtrations.

Les canaux secondaires, c'est-à-dire ceux qui dérivent d'une branche principale, au moyen de bouches réglées, sont ordinairement laissés à la charge des usagers, et leur établissement ne fait point partie des ouvrages à comprendre dans les projets généraux d'irrigation.

Quant aux rigoles, qui ne servent qu'à distribuer et à répandre les eaux sur le terrain, et qui peuvent se ramifier à l'infini, on ne s'en occupe jamais dans les projets de cette espèce; et elles appartiennent entièrement à la pratique des arrosages, dont il est traité dans le livre VI.

§ III. *Suite des études préliminaires.*

Considérations financières. — En matière de canaux d'arrosage, plus peut-être qu'en toute autre,

l'utilité de l'art de l'ingénieur hydraulicien consiste à savoir discerner les bonnes entreprises de celles qui ne le sont pas. Les ouvrages de cette nature étant aujourd'hui d'une exécution extrêmement coûteuse, il faut bien se prémunir contre toute légèreté, contre tout entraînement dans l'adoption de plans et projets qui ne seraient pas basés sur des études suffisamment approfondies, et qui dès lors ne conduiraient souvent qu'à beaucoup de mécomptes. Les considérations d'art sur cet objet doivent donc, tout d'abord, s'associer à des considérations financières, sans lesquelles les premières seraient nécessairement incomplètes. C'est-à-dire que, la possibilité de l'entreprise une fois reconnue, il reste à en bien peser les avantages, comparativement aux charges qu'elle doit entraîner.

Qu'un canal s'exécute aux frais de l'État, ou aux frais d'une compagnie, on doit toujours avoir pour but qu'il soit non-seulement une ressource assurée pour l'amélioration agricole de la contrée, mais aussi un bon placement de fonds, pour ceux qui l'ont entrepris. Ainsi que je l'ai remarqué dans l'introduction de cet ouvrage, il ne serait pas d'une bonne économie de faire acheter, par la ruine des entrepreneurs, l'avantage des localités.

Parmi les nombreuses entreprises d'irrigations nouvelles qui peuvent être créées, soit en France, soit ailleurs, il y en a qui sont bonnes, d'autres qui ne le seraient pas; et tout le monde sera bien d'accord

sur ce point, que c'est aux premières seulement qu'il convient de s'adresser. Mais cette distinction, si essentielle, ne peut être faite qu'à l'aide d'études comparatives et d'avant-projets bien consciencieux, dans lesquels il est tenu un compte exact de toutes les circonstances qui sont favorables ou désavantageuses à telle ou telle ligne proposée.

Études sur le terrain. — La première chose à faire, lorsqu'il est question d'une entreprise d'arrosage, c'est d'en reconnaître la possibilité. Or, elle est toujours subordonnée : 1° au voisinage d'un cours d'eau à fortes pentes, conservant en été une portée suffisante pour qu'on puisse y prélever, pendant les plus grandes sécheresses, le volume d'eau dont on a besoin; 2° à l'existence d'une grande étendue de terrains en plaine, ou du moins peu accidentés, mais présentant, dans tous les cas, des inclinaisons assez fortes pour que les eaux d'irrigation puissent y trouver l'écoulement qui leur est indispensable, sans qu'il faille recourir à des terrassements trop coûteux.

On doit observer avec soin l'étendue et la nature des terres qui sont en position de profiter de l'arrosage, afin d'en déduire la portée d'eau qu'il conviendrait de donner au canal pour satisfaire aux besoins, soit actuels, soit ultérieurs de la localité. Ce volume d'eau évalué, on doit ensuite s'assurer, sans retard, s'il est possible d'en obtenir la conces-

sion de l'administration publique, qui peut seule en attribuer régulièrement l'usage.

Plusieurs reconnaissances préalables, et une observation très-attentive de la configuration du sol, de ses pentes générales, de la direction des petits cours d'eau qui peuvent y exister, et enfin quelques nivellements préparatoires, sont les premières opérations auxquelles doit d'abord se livrer l'ingénieur, dans le but de reconnaître la possibilité d'établir un système d'arrosage, dans une localité donnée.

Une plaine, par exemple, qui, rigoureusement parlant, n'offrirait aucune pente, c'est-à-dire dont la superficie entière se trouverait dans un plan parfaitement horizontal, pourrait paraître à quelques personnes favorablement disposée pour l'arrosage, si les eaux d'une rivière, coulant dans son voisinage pouvaient y être dérivées. Et cependant l'irrigation y serait, sinon impossible, au moins très-difficile. Car il ne suffit pas d'amener des eaux sur un terrain, il faut toujours pouvoir, à volonté, les en retirer complétement; et cette faculté n'a jamais lieu qu'à l'aide des pentes générales, naturellement existantes; vu que d'énormes terrassements seraient nécessaires pour modifier, dans ce sens, la configuration du sol, là où elle n'est pas l'ouvrage de la nature. L'existence des plaines tout à fait dépourvues de pente est heureusement fort rare; et dans le voisinage des grandes chaînes de montagnes, où se trouve la véritable région des irri-

gations, il est au contraire de règle constante que l'on rencontre des inclinaisons générales et régulières, dont la Lombardie et le Piémont sont un exemple bien rare, mais que présentent aussi, d'une manière avantageuse, plusieurs de nos départements du sud-est et du midi, situés au pied des Alpes et au pied des Pyrénées.

Tracés provisoires. — Avant-projet. — Ces premières observations faites, l'ingénieur procède, sur le terrain, aux premières opérations, ayant pour objet le tracé et le nivellement du canal. Il doit d'abord se procurer un plan d'ensemble de toute la localité intéressée à l'irrigation que l'on projette. Les plans du cadastre, et les nouvelles cartes, publiées par le département de la guerre, fournissent de précieuses ressources à cet égard. Lesdites cartes ont, dans le cas actuel, l'immense avantage d'indiquer des cotes de hauteur qui donnent une idée juste des principaux mouvements du terrain qu'elles représentent. Or, dans aucune autre circonstance, ce document n'est plus désirable que dans les études relatives à l'irrigation. Si l'on a assez de temps, et que l'on juge convenable de faire lever un plan spécial, il est toujours très-utile qu'il soit topographique, et qu'il représente, s'il est possible, au moyen de tranches horizontales équidistantes, le relief exact de la superficie du sol. Avec un semblable plan, et des nivellements suffisamment étendus, on peut se livrer, sur le

papier, à des comparaisons très-justes entre diverses lignes d'opération.

Le tracé, qui ici est presque entièrement subordonné à la distribution des pentes, doit être fait avec tout le soin possible. S'il ne s'agissait que d'établir entre deux points donnés, et avec une pente préfixée, un canal, assujetti encore à d'autres conditions relativement à son niveau d'eau, il n'y aurait, la plupart du temps, qu'une seule ligne à adopter; ce qui laisserait peu de marge aux études, et au talent de l'ingénieur. Mais le problème se présente bien rarement dans des conditions aussi étroites; car on a d'abord la faculté de faire varier les pentes, entre certaines limites consacrées par l'usage, et qui sont indiquées plus loin; mais ensuite on a aussi le choix d'atténuer les inclinaisons naturelles, soit par un plus grand développement du tracé, soit par l'établissement de chutes, qui sont ordinairement utilisées; ce qui donne toute la latitude désirable.

Quant à la ligne à préférer, si l'on a le choix entre plusieurs qui puissent convenablement remplir le même but, il est clair qu'à parité de circonstances on doit toujours choisir la plus courte, ou la plus directe; puisque l'on ménage ainsi les dépenses : 1° pour l'achat des terrains, 2° pour l'exécution des terrassements et ouvrages d'art, 3° pour les opérations d'entretien et de curages qui, sur cette espèce de canaux, ont lieu ordinairement

plus d'une fois par an. Néanmoins, si l'on puise dans une rivière sujette aux étiages, on ne doit pas craindre d'augmenter la longueur du tracé, en se donnant un canal d'amenée, qui établisse la prise d'eau de manière à éviter la pénurie, dans le moment le plus important pour l'irrigation.

C'est d'après ces données que l'on procède, tant sur le terrain que sur le papier, à un premier tracé, que l'on tâche d'établir de suite dans les meilleures conditions possibles. Cela donne lieu à un profil en long, accompagné d'un certain nombre de profils en travers, qui doivent toujours être suffisamment étendus pour que l'on puisse les faire servir aux déplacements de l'axe du tracé primitif, s'il arrive que l'on soit obligé de le modifier.

A l'aide de ces premières opérations, et au moyen des éléments que l'on a dû se procurer pour faire l'appréciation des dépenses de l'entreprise, ainsi que celle des produits qu'on peut en attendre, on rédige un avant-projet, qui puisse donner une idée, aussi exacte que possible, de la situation du canal projeté, notamment en ce qui concerne les terrains à traverser; car c'est cet avant-projet qui sert de base à l'ouverture des enquêtes, toujours nécessaires pour l'accomplissement des formalités relatives à l'expropriation, pour cause d'utilité publique, à laquelle on est ordinairement obligé de recourir, s'il s'agit de l'ouverture d'un canal un peu important.

Les avant-projets ne peuvent être rédigés avec

autant de détails et de précision que des projets définitifs. Cependant les ingénieurs doivent tenir à honneur de ne pas s'éloigner de la vérité ; car ce n'est pas seulement en France, mais partout, qu'on leur reproche de voir habituellement leurs estimations dépassées. Il est certain qu'un avant-projet ne peut pas tout prévoir, et tout embrasser, dans un vaste ensemble de travaux ; il s'agit donc, pour procéder sagement, d'y faire une très-large part aux chances imprévues et aux augmentations de dépenses de toute espèce.

CHAPITRE VINGT ET UNIÈME.

DÉTERMINATION DES PENTES ET DES SECTIONS CONVENABLES POUR LES DIVERS CANAUX DANS UN SYSTÈME D'ARROSAGE.

§ 1. *Des pentes.*

Distinctions à faire sur les pentes. — La pente d'une eau courante, en un lieu déterminé, s'obtient en mesurant, à l'aide du nivellement, la distance verticale qui existe entre deux points donnés. Pour avoir la pente correspondante à l'unité de longueur, on divise celle que l'on a obtenue, entre deux points, par la distance qui les sépare; et l'on voit dès lors que cette unité de pente a la même expression que le cosinus de l'angle formé par l'inclinaison du cours d'eau avec la verticale. C'est donc avec raison que, dans la formule d'Eytelwein, la pente est désignée par l'expression de *cos.* φ. Les inclinaisons de la surface des cours d'eau étant généralement très-faibles, les pentes par mètre, ou les cosinus dont il s'agit, sont ordinairement exprimés en cent millièmes de mètre, avec cinq décimales, ce qui peut donner lieu à des erreurs. Il est donc préférable de désigner ces pentes par kilomètre; ou, en les rapportant à l'unité, de les exprimer en fractions ordinaires, comme cela se fait généralement en Italie. C'est pourquoi j'ai adopté concurremment ces deux dernières désigna-

tions. Il est vrai que l'expression qui doit entrer dans les formules est celle de la pente par mètre; mais, dans ce cas, on peut toujours facilement ajouter, à droite de la virgule, les trois zéros, qu'il est avantageux de supprimer dans la simple désignation des pentes. Ainsi celle que, dans le langage ordinaire, on indiquera comme étant de $0^m,24$ par kilomètre, devra, si l'on emploie lesdites formules, être désignée par cette expression équivalente : $0^m,00024$ par mètre.

Dans le tracé des canaux de navigation, les pentes étant presque entièrement rachetées par des écluses, celle qui reste, répartie sur le fond des biefs, est sensiblement nulle; et, en fait de pentes, on peut appeler ainsi toutes celles qui sont au-dessous de $0^m,10$ à $0^m,12$ par kilomètre. Une inclinaison plus forte, pour le fond des biefs, serait toujours nuisible sur les canaux de cette espèce; car le remplissage des sas d'écluse s'opère, sous l'influence d'une forte pression, par des buscs ou ventelles, qui ne débiteraient pas beaucoup plus d'eau, dans un temps donné, si le bief d'amont avait une certaine pente, tandis que celle-ci, occasionnant nécessairement un courant assez prononcé, nuirait à la remonte des bateaux.

Les choses ne se passent pas de même lorsqu'il s'agit de canaux spécialement destinés à l'arrosage. En effet, il s'y opère une consommation d'eau beaucoup plus forte que cela n'a lieu généralement

sur les voies navigables, et cette consommation exige un débit continu, qui ne peut avoir lieu sans le secours d'une pente et d'une vitesse déterminées.

Il y a beaucoup de distinctions à faire sur le choix des pentes qu'il est le plus convenable d'adopter pour un canal d'arrosage, placé dans des circonstances déterminées; en général il est bon de ménager ces pentes autant que possible; d'abord afin d'éviter de construire des revêtements coûteux, pour prévenir la dégradation des berges, qui est inévitable quand la vitesse est grande, à moins que le terrain ne soit d'une résistance peu commune. Un autre motif, d'après lequel il est important de ménager les pentes, c'est l'utilité de racheter leur excédant par des chutes, qui sont d'autant plus profitables à l'industrie manufacturière que celle-ci profite toujours largement des accroissements de production, d'activité et de richesse que la création d'un canal d'arrosage amène inévitablement dans une localité qui en était privée. Cependant il y a, dans la diminution des pentes non rachetées, des limites au delà desquelles il ne faut pas aller. Ainsi, pour un canal de simple arrosage, l'on ne descendrait pas sans préjudice jusqu'aux pentes très-faibles qui conviennent à un canal de navigation. Si les eaux dont on dispose sont habituellement troubles, la diminution des pentes devient beaucoup plus difficile, par suite du danger de voir doubler ou tripler les dépenses, toujours considéra-

bles, que nécessitent les curages, et de voir même obstruer continuellement les biefs et les prises d'eau, par des dépôts ou atterrissements. Ces inconvénients se présentent à un degré très-marqué dans le département de Vaucluse, sur le canal de Crillon, parce qu'on a voulu, à tout prix, y ménager des chutes d'eau, à la vérité très-utiles, mais qui, dans ce cas, ont porté un véritable préjudice à l'irrigation, qui était sa destination principale.

La première distinction à faire avant de déterminer les pentes qui conviennent à un canal d'arrosage, est donc d'examiner quelle est la nature des eaux qui doivent l'alimenter. Car si elles sont habituellement troubles, on ne pourra combattre efficacement que par la conservation d'une vitesse suffisante la tendance que les eaux troubles ont toujours à déposer les matières étrangères qui y sont suspendues, dès qu'il y a une diminution dans la vitesse, sous l'influence de laquelle elles se sont chargées de ces mêmes matières. Mais on est toujours obligé de tenir compte aussi de la résistance du terrain. On voit donc qu'il y a à faire une appréciation fort délicate, puisqu'il s'agit de trouver le juste milieu entre deux inconvénients opposés, dont l'un consiste dans la grande quantité de dépôts et atterrissements qui se forment dans le canal, si l'eau y coule trop lentement, et l'autre dans la dégradation des berges, ou bien dans l'établissement de revêtements très-coûteux, qui sont la con-

séquence d'une vitesse considérable. La résistance du sol doit donc être prise aussi en considération. En un mot, du moment qu'on doit employer des eaux qui sont habituellement ou fréquemment troubles, le problème de la détermination des pentes devient compliqué; il s'agit d'obtenir celle qui correspondra à un véritable *régime;* c'est-à-dire à un état d'équilibre entre la tendance de l'eau à corroder son lit, ce qui est ordinairement très-facile dans les terres fraîchement remuées, et la tendance que, dans le cas contraire, elle a d'y opérer des dépôts. Examiner ce qui se passe dans des canaux de même espèce, est en général ce qu'il y a de mieux à faire pour s'éclairer en pareille circonstance.

Pentes convenables pour les canaux, soit d'arrosage seul, soit d'arrosage et de navigation. — Dans chaque localité il a été adopté, à cet égard, des règles plus ou moins bonnes, que l'usage paraît avoir anciennement consacrées. Dans le nord de l'Italie, on donnait autrefois aux canaux d'arrosage des pentes très-fortes que l'on n'admettrait plus aujourd'hui. Vitruve indique, dans ses ouvrages, qu'il faut donner aux conduites d'eau 2 pieds de pente par chaque mille de longueur, ce qui correspondrait à environ $0^{m},55$ par kilomètre. Scamozzi et L.-B. Alberti indiquent un chiffre moitié moindre. Du seizième au dix-huitième siècle, les ingénieurs hydrauliciens de la Lombardie adoptaient généralement des pentes analogues, c'est-à-dire

$\frac{1}{1800}$ à $\frac{1}{2000}$; mais comme dans ce pays les eaux sont extrêmement limpides, on y adopte de préférence aujourd'hui des inclinaisons plus faibles.

Il y a d'ailleurs d'autres distinctions à faire que celles de la nature des eaux. Ainsi sur les canaux qui sont destinés simultanément à la navigation et aux arrosages, on est obligé d'adopter des pentes un peu plus fortes que cela ne conviendrait pour la navigation seule, mais plus faibles aussi que ne les réclamerait le seul intérêt de l'agriculture. Si la navigation était principalement descendante, les pentes devraient être plus fortes; plus faibles, au contraire, si le mouvement des transports était surtout ascendant. Ces pentes peuvent donc varier, comme on le voit, dans des limites assez étendues.

Dans les montagnes et les vallons élevés, où l'on a de l'eau en abondance, où rien n'en limite ordinairement l'usage, et où l'on peut toujours la faire arriver facilement, sur des terrains très-inclinés, on ne s'occupe pas plus de ménager les pentes que de ménager les eaux; là, les rigoles, tracées toujours par de simples cultivateurs, serpentent librement sur la déclivité des coteaux, où elles conduisent de rapides courants, dont l'inclinaison serait excessive, dans toute autre situation.

Il n'en est plus de même dans les plaines qui doivent recevoir leur fertilité d'un canal d'arrosage. Là les pentes doivent être réglées avec le plus grand soin; surtout si l'on observe qu'on ne peut les por-

ter au delà du degré convenable sans retirer le bénéficé de l'irrigation à une certaine étendue de terrains, qui y auraient eu part si elles eussent été mieux calculées. Je crois inutile de faire remarquer que, dans cette obligation de ménager les pentes, se trouve nécessairement comprise celle de ménager les chutes. Car ce que l'on doit redouter, c'est l'abaissement du plan d'eau au-dessous des parties élevées du terrain irrigable, qui cessent alors forcément de pouvoir prendre part à l'arrosage, à moins que l'on n'effectue, soit des terrassements, soit des prises d'eau à une très-grande distance, ce qui augmente beaucoup les frais et les difficultés. Ainsi donc, outre les points où il existe naturellement des chutes, soit à côté des écluses, si le canal projeté doit être navigable, soit sur les points où il y a eu nécessité de racheter des excédants réels de pente, on doit être très-circonspect d'en comprendre dans les projets de canaux, car alors on pourrait mettre l'industrie manufacturière et l'agriculture dans une regrettable concurrence; tandis que, quand les choses sont bien entendues, leurs intérêts peuvent très-bien se concilier.

En résumé, le point principal dans l'art de tracer les canaux d'irrigation consiste à faire une bonne répartition des pentes, en partant d'ailleurs d'un niveau suffisamment stable des eaux alimentaires. Cette opération, qui est très-délicate, réclame plus qu'aucune autre le concours d'un ingénieur habile et expérimenté.

Pour faciliter les études de ce genre, je donne ici un tableau comparatif, contenant l'indication des pentes maxima, moyennes, et minima, des principaux canaux, soit d'irrigation seule, soit d'arrosage et de navigattion, existant dans le midi de la France et en Italie.

DÉSIGNATION DES CANAUX.	PENTES par unité.	PENTES par kilom.
RIGOLES D'ARROSAGE EN PAYS DE MONTAGNES.		
Pentes habituelles des petites dérivations, qui existent en très-grande quantité dans les vallées supérieures des Alpes, notamment dans le Tyrol, la Suisse, la Savoie, ainsi que dans les montagnes du Dauphiné, du Vivarais et dans les Pyrénées.	$\frac{1}{500}$	$2^m,00$
	$\frac{1}{333}$	$3^m,00$
	$\frac{1}{166}$	$6^m,00$
PETITS ET MOYENS CANAUX D'ARROSAGE DANS LA RÉGION DES PYRÉNÉES FRANÇAISES.		
Canaux d'Alaric, de la Gespe, de Tarbes, et autres, du département des Hautes-Pyrénées.	$\frac{1}{495}$	$2^m,22$
	$\frac{1}{244}$	$4^m,10$
	$\frac{1}{200}$	$5^m,00$
Ruisseau de Las-Canals, ou canal de Perpignan, et autres du département des Pyrénées-Orientales.	$\frac{1}{470}$	$2^m,12$
	$\frac{1}{434}$	$2^m,32$
	$\frac{1}{188}$	$5^m,30$
Canal moderne du Bazer (Haute-Garonne.	$\frac{1}{4166}$	$0^m,24$
	$\frac{1}{3125}$	$0^m,32$
	$\frac{1}{2500}$	$0^m,40$

DÉSIGNATION DES CANAUX.	PENTES par unité.	PENTES par kilom.
CANAUX D'ARROSAGE DU DAUPHINÉ ET DE LA PROVENCE.		
Pentes habituelles des canaux des départements de l'Isère, de la Drôme, et des Hautes-Alpes.	$\frac{1}{957}$	$1^m,80$
		$2^m,66$
		$2^m,80$
		$3^m,10$
Canal de Crapone (Bouches-du-Rhône).	$\frac{1}{545}$	$0^m,86$
		$1^m,55$
		$2^m,30$
Canal des Alpines (branches méridionales anciennes).	$\frac{1}{500}$	$0^m,08$
		$2^m,00$
		$2^m,30$
Id. (branche septentrionale moderne).	$\frac{1}{2500}$	$0^m,30$
		$0^m,40$
		$0^m,50$
Anciens canaux de Vaucluse, de Saint-Julien, de Cavaillon, etc. (Vaucluse).	$\frac{1}{950}$	$0^m,45$
		$1^m,03$
		$1^m,60$
Canal moderne de Marseille (Bouches-du-Rhône).	$\frac{1}{3333}$	$0^m,30$
	$\frac{1}{2174}$	$0^m,46$
		$0^m,05$
	$\frac{1}{1000}$	$1^m,00$
Canal moderne de Pierrelatte (Drôme).		$0^m,41$
		$0^m,27$
		$0^m,13$

DÉSIGNATION DES CANAUX.	PENTES par unité.	PENTES par kilom.
Ancien canal de Crillon (Vaucluse).	$\frac{1}{4000}$	$0^m,32$ $0^m,25$ $0^m,18$
CANAUX D'ARROSAGE DU PIÉMONT.		
Canal d'Ivrée (provinces d'Ivrée et de Verceil).	$\frac{1}{1111}$	$0^m,52$ $0^m,90$ $1^m,28$
Canaux del Rotto, de Saluggia, della Camera (mêmes provinces).	$\frac{1}{1351}$	$0^m,48$ $0^m,74$ $1^m,00$
Canal de Caluso (province d'Ivrée).	$\frac{1}{545}$	$1^m,00$ $1^m,85$ $2^m,70$
Canaux de la rive gauche de la Sesia (province de Novara et de Mortara).	$\frac{1}{1250}$	$0^m,42$ $0^m,80$ $1^m,03$
Canaux de la rive droite du Tessin (mêmes provinces).	$\frac{1}{1386}$	$0^m,38$ $0^m,72$ $0^m,96$
Canaux particuliers récemment exécutés dans les provinces du Piémont.	$\frac{1}{1666}$	$0^m,36$ $0^m,60$ $0^m,84$

DÉSIGNATION DES CANAUX.	PENTES par unité.	PENTES par kilom.
CANAUX D'ARROSAGE ET DE NAVIGATION DE LA LOMBARDIE, ET PRINCIPALEMENT DU MILANAIS.		
Naviglio-Grande (provinces de Milan et de Pavie).	1° $\frac{1}{883}$	$0^m,72$
		$1^m,13$
		$1^m,55$
	2° $\frac{1}{1470}$	$0^m,20$
		$0^m,68$
		$1^m,16$
	3° $\frac{1}{1818}$	$0^m,30$
		$0^m,55$
		$0^m,80$
Canal de Berguado (*id.*).	$\frac{1}{5883}$	$0^m,17$
Canal de Pavie (*id.*).	$\frac{1}{3333}$	$0^m,18$
		$0^m,30$
		$0^m,41$
Canal de la Martesana (province de Milan).	$\frac{1}{2340}$	$0^m,40$
		$0^m,47$
		$0^m,58$
Canal de la Muzza (irrigation seule).	$\frac{1}{6688}$	$0^m,12$
		$0^m,15$
		$0^m,18$
Canaux du Crémonais (arrosage et petite navigation).	$\frac{1}{1333}$	$0^m,72$
		$0^m,75$
		$2^m,06$
Canaux particuliers, récemment exécutés dans les provinces de Milan, Pavie et Lodi.	$\frac{1}{3600}$	$0^m,277$
	$\frac{1}{2222}$	$0^m,450$
	$\frac{1}{1605}$	$0^m,625$

On voit, par la première partie du tableau qui précède, que les pentes des canaux ou rigoles d'arrosage, en pays de montagnes, n'ont en quelque sorte pas de limites. Mais du moment que la pente d'un cours d'eau dépasse $\frac{1}{333}$ ou 3 mètres par kilomètre, il faut que le surplus résulte plutôt de petites chutes, ou cascades, que d'une inclinaison continue; car bien peu de terrains sont capables de résister à l'action de l'eau coulant avec la vitesse qui y correspond ; et dès lors il n'est pas de localité où l'on puisse en conseiller l'usage.

Les pentes les plus convenables pour les canaux analogues à ceux de la Provence, où l'on emploie des eaux assez troubles, paraissent devoir se tenir entre $0^m,60$ et $0^m,90$ par kilomètre.

Enfin l'on voit, dans la deuxième partie du tableau, que dans le nord de l'Italie, où les eaux sont généralement claires, et où l'on donnait anciennement aux canaux d'arrosage beaucoup d'inclinaison*, on s'est arrêté à l'adoption de pentes faibles, qui sont reconnues être les plus avantageuses.

On conçoit bien, en effet, qu'outre l'avantage de ménager le plus possible ces pentes dans l'intérêt de la portion élevée des terrains arrosables, il n'est pas moins important de les ménager aussi dans l'intérêt des berges et du lit des canaux, qui sont promptement dégradés par l'effet des grandes vitesses; ce qui augmente, dans une très-forte proportion, les dépenses d'entretien et de curages, qui

sont un objet majeur, pour cette sorte de canaux. Les ouvrages d'art eux-mêmes sont bien moins exposés aux affouillements et autres dégradations. Enfin, tout concourt à démontrer que, lorsque l'on n'est pas obligé de déroger à ce principe, c'est toujours à des pentes très-modérées qu'on doit donner la préférence dans les projets de canaux d'irrigation.

Erreurs dans quelques écrits. — D'après l'importance de ces considérations, on peut voir combien il serait funeste de propager, sur ce point, des notions inexactes. C'est cependant ce qui a lieu ; et en voici la preuve.

M. de Perthuis, ancien officier du génie, a publié, en 1806, un mémoire in-8° de 126 pages, intitulé : *De l'amélioration des prairies naturelles, et de leur irrigation.* Cet ouvrage ne manque pas de vues pratiques et de considérations justes. Mais, à l'article des pentes, l'auteur, après avoir dit qu'elles ne devraient être ni trop fortes ni trop faibles, ajoute, page 33, « que les plus favorables paraissent être entre 12 et 24 millimètres pour 2 mètres. Or, cela équivaut à 6 et 12 mètres par kilomètre, ou, en moyenne, à 9 mètres par kilomètre ! — et l'on voit que cette pente, triple de celle des rivières torrentielles, est encore dix fois plus forte que celle qui, dans les localités ordinaires, convient aux canaux d'irrigation, employant même des eaux troubles.

L'indication donnée par Bosc, dans l'article Irrigation, du *Nouveau cours complet d'agricul-*

ture, ouvrage justement estimé, qui fut publié pour la première fois il y a une trentaine d'années, n'est point aussi fautive; mais néanmoins elle l'est encore beaucoup; car, le chiffre qu'il indique est celui de 2 à 4 millimètres par mètre, ou de 2^m à 4^m par kilomètre. — Évidemment cette estimation, quoique trois fois plus faible que celle dont je viens de parler, est encore exagérée, puisque si, à la rigueur, elle peut trouver des applications dans les hautes vallées des chaînes de montagnes, l'irrigation des pays de plaines ne s'établit convenablement, sauf l'emploi des eaux troubles, qu'avec des pentes dix fois moindres.

Ces indications erronées ont été reproduites dans le petit nombre de mémoires qui ont été publiés sur l'irrigation, jusqu'à cette époque. On les retrouve notamment, d'une manière même exagérée, dans un article sur la pratique des arrosages, inséré, par M. Mathieu de Dombasle, dans le Calendrier du bon cultivateur, année 1838. Dans cet article on indique, pour les pentes convenables aux canaux de ce genre, des inclinaisons de $\frac{1}{360}$ à $\frac{1}{180}$ ($2^m,77$ à $5^m,54$ par kilomètre), c'est-à-dire des inclinaisons de dix à vingt fois trop fortes.

Dans l'absence de bons ouvrages sur cette matière difficile, des erreurs aussi radicales, qui devaient s'accréditer d'après le nom de leurs auteurs, ne pouvaient manquer d'être funestes, comme elles l'ont été, à beaucoup de personnes qui ont essayé

d'opérer sur ces données. Ces erreurs étaient donc de nature à faire un véritable tort à l'art des irrigations.

Résumé. — Pour tenir compte des nombreuses distinctions qui doivent faire varier les pentes des canaux, tout en les maintenant dans les limites convenables, qu'il est si essentiel d'observer, on pourra s'aider du tableau suivant, divisé en deux catégories, et présentant, pour chacune d'elles, des chiffres observés sur des portions de canaux, paraissant être, sous ce rapport, dans les meilleures conditions.

CANAUX D'ARROSAGE.		CANAUX D'ARROSAGE ET DE NAVIGATION.	
PENTES		PENTES	
par unité.	par kilom.	par unité.	par kilom.
$\frac{1}{1666}$	$0^m,600$	$\frac{1}{3333}$	$0^m,300$
$\frac{1}{1800}$	$0^m,550$	$\frac{1}{3600}$	$0^m,277$
$\frac{1}{2000}$	$0^m,500$	$\frac{1}{4000}$	$0^m,250$
$\frac{1}{2400}$	$0^m,458$	$\frac{1}{4545}$	$0^m,220$
$\frac{1}{2500}$	$0^m,400$	$\frac{1}{5000}$	$0^m,200$
$\frac{1}{3000}$	$0^m,333$	$\frac{1}{5555}$	$0^m,180$
$\frac{1}{3333}$	$0^m,300$	$\frac{1}{6000}$	$0^m,166$
$\frac{1}{3600}$	$0^m,277$	$\frac{1}{6666}$	$0^m,130$

Les pentes de 0m,277, de 0m,300, et même de 0m,333 par kilomètre, sont à la fois les pentes faibles des canaux d'arrosage, et les pentes fortes des canaux d'arrosage et de navigation, placés dans des circonstances ordinaires. Si le mouvement des bateaux avait lieu principalement vers l'amont, les seules pentes que l'on devrait admettre sont celles qui, à partir des derniers chiffres du deuxième tableau, iraient, au plus, jusqu'à 0m,25 inclusivement. Si, au contraire, la navigation était surtout descendante, on pourrait admettre, sans aucune réduction, les pentes moyennes de 0m,40 à 0m,45, les plus convenables aux canaux d'irrigation à eaux claires, et même les pentes de 0m,55 à 60, qui leur conviennent seules quand on emploie des eaux médiocrement troubles.

Pentes des autres canaux. — Les observations qui précèdent s'appliquent aux canaux d'irrigation proprement dits. Mais lorsqu'il s'agit des colateurs, fuyants, ou déchargeoirs, on leur donne, comme je l'ai dit, des pentes très-prononcées, jusqu'à concurrence toutefois de celles qui amèneraient la corrosion du terrain.

Quant aux canaux de colmatage, la condition de n'avoir que de très-fortes inclinaisons, leur est des plus indispensables, car ils sont destinés à conduire des eaux, fortement chargées de matières terreuses, dans les lieux où l'on veut en faire opérer le dépôt, au moyen d'un système d'ouvrages convenable-

ment disposés. On conçoit donc que c'est seulement à la faveur d'une vitesse considérable et soutenue que l'on pourra éviter que les dépôts n'aient lieu dans le lit même du canal. De cette manière le colmatage se ferait par anticipation et d'une manière très-nuisible; car, tandis que le lit s'encombrerait, les terrains bas ou marécageux, destinés à être exhaussés, ne recevraient que des eaux en partie dépouillées de ce qui faisait ici leur qualité et leur richesse. De sorte que les avantages à attendre de l'entreprise seraient doublement diminués.

Lorsqu'on aura plus d'expérience de l'opération du colmatage, on pourra établir des relations constantes entre la quantité de limon, ou de matières terreuses, contenues dans l'eau, destinée à cet usage, et la pente qu'il convient de donner aux canaux qui doivent la conduire. La Robine de Narbonne, qui est un canal de cette espèce, ayant une certaine importance, ne pourrait être prise pour règle, parce qu'il s'y produit beaucoup de dépôts, notamment aux abords des écluses. Mais aussi on conçoit difficilement l'association, dans un même canal, de la navigation et du colmatage, qui exigent, quant aux pentes, des conditions si différentes. La rivière d'Aude, qui alimente cette robine, contient parfois jusqu'à un quinzième de son volume de matières étrangères, et, dans de pareilles circonstances, il faudrait des pentes trois ou quatre fois plus fortes que celles du canal actuel. Il en serait de même pour

les dérivations à faire sur plusieurs rivières troubles du midi de la France, telles que l'Isère, la Drôme, le Vidourle, etc. La Durance, qui ne contient en temps ordinaires qu'environ un deux-centième de matières terreuses, n'exige pas des pentes aussi considérables.

C'est dans les Maremmes de Toscane, et surtout dans le Val-de-Chiana, qu'il faut étudier les procédés les plus convenables pour arriver aux grands résultats que peut donner le colmatage. En présence de ces résultats, on est bientôt convaincu que de toutes les opérations basées sur un emploi intelligent des eaux, celle-là est une des plus fécondes; attendu qu'elle offre, dans un assez grand nombre de localités, mal partagées sous plusieurs rapports, des ressources neuves et puissantes, pour des améliorations agricoles, à réaliser sur une grande échelle.

§ II. *Des sections.*

Importance et difficultés du choix de la section. — Si les canaux d'arrosage devaient s'établir avec une seule et même inclinaison, ou sous des pentes normales à peu près identiques, comme cela se voit sur les canaux de simple navigation, pour lesquels la pente des biefs est presque toujours à peu près nulle, alors la section convenable pour un canal d'irrigation, devant débiter un vo-

lume d'eau déterminé, s'établirait par la simple observation de celle d'un certain nombre de canaux analogues, placés dans de bonnes conditions, et sur lesquels on calculerait quelle est la largeur correspondante à un certain volume, pris pour unité, par exemple, à une once, à un hectolitre, à un mètre cube d'eau.

Mais cela ne peut pas se faire ainsi, attendu qu'il y a de grandes variations à admettre dans les pentes des canaux d'arrosage; et l'on conçoit dès lors, qu'à débit égal, la section diminue nécessairement à mesure que la vitesse augmente. C'est pour cela qu'on voit les simples rigoles d'arrosage des pays de montagne, malgré leurs petites largeurs, débiter quelquefois autant d'eau qu'un canal de navigation.

On ne pourrait donc, pour l'objet dont il s'agit, tirer utilement parti de la comparaison des canaux existants, qu'autant que leurs pentes seraient précisément celles qui conviendraient au canal projeté.

Ne pouvant employer ce moyen, qui eût été le plus simple, il faut, dans chaque cas, recourir à un calcul direct, au moyen des meilleures formules qui établissent la relation existante entre le volume, la pente et la section d'une eau courante

La difficulté dont j'ai parlé ne provient pas de ce qu'il faut manier des formules; tous les ingénieurs sont familiers avec l'emploi de cette sorte

d'instruments, mais elle résulte d'un grand nombre de distinctions, essentielles et délicates, qu'il est indispensable de faire; à moins qu'on veuille agir à peu près au hasard, ce qui n'est pas supposable.

Dans sa généralité, le problème est posé en ces termes : Étant données la portée d'eau et la pente d'un canal projeté, déterminer sa section. — Alors la marche à suivre généralement consiste dans l'emploi de la formule d'Eytelwein, dont j'ai déjà montré, chap. XIV, page 27, l'application à ce même problème. Je dis, le même problème, quoique dans le premier cas il ne fût question que de la largeur, tandis qu'il s'agit ici de la section. Mais les deux recherches se réduisent réellement à une seule, qui est celle de la largeur moyenne du canal projeté. On doit entendre par là la largeur moyenne du trapèze correspondant au périmètre mouillé. Elle offre, sur la largeur au plafond, l'avantage de laisser l'évaluation de la section indépendante de l'inclinaison des talus, et de donner très-simplement cette section par son produit avec la hauteur.

Cette manière de réduire la recherche de la section à celle de la largeur moyenne, en se donnant préalablement la hauteur, est d'autant plus rationnelle que cette hauteur est effectivement presque toujours fixée. Elle l'est d'abord toutes les fois qu'il s'agit d'un canal d'arrosage et de navigation, d'après la corrélation nécessaire existant entre ladite hauteur et le tirant d'eau des bateaux.

Enfin, sur les canaux de simple arrosage, elle se trouve aussi fixée, du moins à un minimum, d'après les conditions qu'il faut remplir pour l'établissement convenable des régulateurs.

On voit, page 24, que la formule (C), mise sous sa forme la plus simple, ne pourrait servir directement à la détermination de la section; d'abord, parce qu'elle contient la quantité u qui doit en être éliminée, et en second lieu, parce qu'elle ne donnerait, dans tous les cas, que le rapport D, dans lequel ladite section entre concurremment avec le périmètre, dont on n'a pas besoin. Il faut donc nécessairement procéder d'après la marche suivie dans le problème n° 1, pages 27 et 28, et introduire comme nouvelle donnée la hauteur h de l'eau, dans le canal projeté, en ne laissant à trouver que la largeur inconnue x.

La formule (D), qui se trouve à la page 29, étant une application, obtenue par l'introduction de coefficients numériques, n'est point celle qui sert dans le cas général. Voici l'expression de cette dernière, résultant de l'élimination, dans la formule d'Eytelwein, des valeurs

$$D = \frac{hx}{x+2h} \quad \text{et} \quad u = \frac{Q}{hx}.$$

Elle devient :

$$\text{Cos. } \varphi\, hx^3 - \frac{bQ}{h^2}x^2 - \left(\frac{aQ^2}{2gh^2} + \frac{16\,bQ}{h}\right)x - \frac{aQ^2}{gh} - 4\,bQ = 0.$$

Pour ne pas en compliquer l'expression, les quantités a et b y remplacent les deux coefficients numériques de la formule générale, donnée p. 24, qui valent :

$$a = 0{,}00717 \qquad b = 0{,}000024.$$

Cette équation n'étant pas d'un usage très-commode, on peut, si l'on veut, lui préférer la méthode des approximations successives, résultant de l'emploi de la formule

$$u - Q\frac{h - D}{2\,Dh} = 0$$

indiquée également à la page 29.

Mais il existe pour l'objet dont il s'agit une formule plus simple, et d'autant plus avantageuse qu'elle est basée sur soixante expériences, spécialement faites sur les principaux canaux d'arrosage du nord de l'Italie. C'est la formule de Tadini. Je l'ai trouvée dans une note de l'ouvrage du célèbre professeur Coconcelli, de Parme. Si je la reproduis avec une notation un peu différente, quant à la manière de désigner la pente, c'est pour lui conserver, le plus possible, son analogie avec celle d'Eytelwein, qui reste toujours la formule fondamentale, en ce qui touche le mouvement de l'eau dans les rivières. Voici cette nouvelle formule :

$$0{,}0004\,Q^2 = \cos.\varphi\, l^2 h^3 \quad \text{ou} \quad Q = 50\, lh \sqrt{h \cos.\varphi}.$$

Cos. φ représente, comme précédemment, la pente par mètre du courant; l la largeur réduite; h la hauteur, et Q la portée d'eau. Ce qui distingue ladite formule, c'est que la section y est représentée très-simplement par le produit de ses deux dimensions, $l.h.$; cela n'est nullement inexact, puisque la section des canaux a toujours la forme d'un trapèze.

On a d'après cela :

$$S^n = lh = \frac{Q}{u} = \frac{Q}{50\sqrt{h \cos. \varphi}} \quad \text{et} \quad u = 50\sqrt{h \cos. \varphi}.$$

Ainsi, connaissant le volume, la pente et la hauteur d'eau d'un canal, on en déduira, d'une manière extrêmement simple, soit sa section, soit sa largeur, ou même sa vitesse moyenne, avec l'emploi de la formule de Tadini, qui est la plus avantageuse à employer dans cette recherche.

Voyons, comme première application de cette méthode, quelle serait la section, ou la largeur moyenne, d'un canal devant porter $2^{m.c.}$ par seconde, avec une pente de $0^m,40$ par kilomètre, ou de $0^m,0004$ par mètre, et une hauteur d'eau de $0^m,64$. — En désignant dans la formule précitée, la largeur cherchée par x, on aura

$$x = \frac{Q}{50h.\sqrt{h. \cos. \varphi}} = \frac{2}{50 \times 0,64 \times 0,8 \times 0,02}$$

d'où :

$$x = 3^m,90.$$

Soit que l'on calcule directement la section d'après l'expression

$$S = lh = \frac{Q}{50\sqrt{h \cos. \varphi}}$$

soit que l'on multiplie la largeur, ainsi obtenue par la hauteur donnée, on trouve que cette section est de $2^m,50$.

Si, avec les mêmes données, on avait une pente plus forte, qui fût par exemple de $0^m,0009$ par mètre, la formule deviendrait :

$$S = \frac{2}{50 \times \frac{8}{10} \times \frac{3}{100}} = 1^m,66.$$

En divisant cette section par la hauteur donnée, on trouverait, pour la longueur cherchée, $x = 2^m,59$, au lieu de $3^m,90$, qui était la valeur correspondante à une pente de $0^m,0004$. Si c'était la hauteur que l'on fît varier, on trouverait avec la même facilité les valeurs correspondantes de ladite largeur. Enfin on pourrait également, quoique le cas soit moins pratique, se donner une largeur, et on trouverait, avec la même facilité, la hauteur d'eau correspondante.

Évaluation approximative des eaux perdues. — Voilà comment on trouvera, dans chaque cas particulier, les largeurs moyennes ou les sections convenables pour un canal d'arrosage dont la pente et le volume d'eau sont déterminés. Mais il est nécessaire d'entrer dans d'autres considérations. En

effet, la portée d'un canal ne consiste pas seulement dans le volume d'eau effectivement distribué en arrosages; elle comprend encore une quantité supplémentaire, ordinairement variable, d'un canal à un autre, et qui se compose : 1° de l'eau perdue en filtrations et enlevée par l'évaporation; 2° de celle qui se perd par les interstices des vannes ou déchargeoirs; 3° enfin, de celle qui est consommée par l'excédant de débit des bouches non réglées.

Il a été fait, sur les trois principaux canaux du Milanais, des observations comparatives qui permettent d'avoir une approximation sur ce point important.

On a procédé sur ces canaux à peu près comme quand on veut connaître le coefficient de la contraction qui résulte de l'emploi d'un orifice; c'est-à-dire que l'on a fait le jaugeage direct du volume d'eau qui leur est livré à leur embouchure, et, en comparant ce volume avec le débit légal des bouches, on en a déduit le déchet total, correspondant aux différentes causes de déperdition sus-mentionnées. Voici le résultat de ces expériences, qui n'ont encore été faites que dans le Milanais. Les volumes d'eau y sont calculés en onces de ce pays.

1° Naviglio-Grande,

Jaugeage direct.	1.234 onc.
Dépense des bouches. . . .	1.075
Différence. .	159 onc.

2° Canal de la Martesana,

Jaugeage direct.	654 onc
Dépense des bouches. . . .	584
Différence. .	70 onc

3° Canal de la Muzza,

Jaugeage direct.	1.768 onc.
Dépense des bouches. . . .	1.482
Différence. .	286 onc.

Si, pour chaque cas, on divise les différences par les débits des bouches, on trouve les proportions suivantes :

Pour le Naviglio-Grande.	0,15
Pour le canal de la Martesana. . . .	0,12
Pour le canal de la Muzza. . . .	0,19
Total. . .	0,46

Moyenne : 0,15.

Faire la distinction entre ces trois différentes causes des pertes d'eau, et attribuer à chacune d'elles une évaluation particulière, serait une chose presque impossible; surtout si l'on considère que l'évaluation précédente doit se décomposer, d'un cas à un autre, d'une manière différente. Ainsi, le Naviglio-Grande, qui a maintenant plus de six siècles et demi d'existence, doit éprouver peu de filtrations, tandis qu'ayant conservé un assez grand nombre d'anciennes bouches, non réglées,

les excédants de débit y sont encore considérables. Sur le canal de Pavie, au contraire, les bouches sont exactement modellées, mais les filtrations importantes.

Dans l'état actuel des choses, on doit donc s'en tenir à cette approximation, sans chercher à la détailler davantage. Il est bien entendu aussi que ce chiffre de 0,15 devra s'appliquer avec d'autant plus de confiance que l'on se trouvera dans une situation plus analogue à celle des canaux du Milanais, ouverts dans des terrains d'alluvion, reposant sur des bancs, plus ou moins épais, de gravier, sable, et galets. Dans les terres fortes et argileuses, on aura moins de filtrations; mais les autres causes de pertes pourront être plus influentes. En somme, on peut donc, jusqu'à ce qu'il ait été fait des observations plus complètes, s'en tenir à cette première approximation. En conséquence, étant donné le débit effectif des bouches d'un canal, ou la quantité d'eau qu'il devra distribuer, il conviendra de multiplier ce débit par 1,15, pour en déduire le volume total à introduire dans le canal.

Quant aux petits canaux, pour lesquels on n'a pas fait d'observations analogues, je ne sais jusqu'à quel point il serait exact de leur appliquer ce résultat. C'est aux ingénieurs à voir, dans chaque cas particulier, le parti qu'ils jugeront convenable de prendre. Je ferai remarquer au surplus que, pour ces petits canaux, ayant par exemple une portée de 2 à

6 onces, on ne calcule pas aussi rigoureusement leur section, qu'on ne craint pas de prendre un peu forte. La règle, dans le Milanais, est d'établir leur largeur moyenne à raison de 1 pied, ou $0^m,44$, par once, ce qui est bien dans ce cas; mais ce serait infiniment trop pour de grandes portées, comme celles qui ont fait l'objet des observations précédentes; car on voit que les largeurs moyennes des grandes dérivations, telles que la Muzza, le Naviglio-Grande, etc., ne correspondent qu'à 5 ou 6 centimètres par once.

La formule de Tadini, qui convient bien aux grands et aux moyens canaux, donnerait des sections ou des largeurs un peu trop fortes pour les très-petites dérivations.

Lorsqu'il ne s'agit que de canaux d'arrosage, placés dans des situations analogues et ayant à peu près les mêmes pentes, on peut, comme je l'ai fait remarquer au commencement de ce paragraphe, déduire la section convenable, pour un canal de même espèce, de la seule observation du rapport existant, sur plusieurs d'entre eux, entre l'unité de volume et l'unité de largeur correspondante.

Par exemple, sur les canaux du Piémont, alimentés par la rive gauche de la Doire, dans les provinces d'Ivrée et de Verceil, on voit que celui d'Ivrée, pour $17^{m.c.}$ de portée d'eau, a, à son origine, une largeur moyenne de $8^m,40$; ci, pour

chaque mètre cube d'eau. . . . . $2^m,02$

Celui de Cigliano, avec des pentes à peu près égales, a $16^{m.c.}$ de portée et 8^m de largeur; ci, par mètre cube. . . . . $2^m,00$

Enfin, celui Del Rotto, pour $15^{m.c.}$ de portée, a $7^m,40$ de largeur; ci. . . . . $2^m,02$

On peut donc conclure de là que, pour les canaux susdits, ayant des pentes moyennes d'environ $0^m,80$, chaque mètre cube de portée correspond à 2 mètres de largeur de la section; ce qui donne une règle bien simple pour la construction de canaux semblables. Mais du moment que la pente augmente, ce rapport devient moindre. Ainsi, nous voyons que, dans la même contrée, il n'est plus que de $1^m,90$, sur le canal de la Camera, et de $1^m,80$ sur celui de Caluso, dont les pentes sont encore plus fortes.

S'il s'agissait de pentes inférieures à celles des canaux de la Doire, alors on aurait, par la même raison, plus de 2 mètres de largeur moyenne pour chaque mètre cube de volume d'eau.

Plantes aquatiques. — Enfin, cette correction importante étant effectuée, il reste encore à opérer, sur le chiffre que l'on obtient, une autre augmentation, motivée par la nécessité de maintenir à la dérivation sa portée normale, malgré la croissance des plantes aquatiques, qui, dans les régions dont le climat est le plus favorable aux arrosages, végètent avec une rapidité désespérante.

Digitized by Google

Malgré l'obligation où l'on est de les faucher deux fois par été, il arrive toujours qu'aux approches des chômages, vers le terme de leur croissance, ces herbages occupent une portion notable de la section des canaux, ou plutôt qu'ils en ralentissent le débit, moins encore par leur volume réel, que par la gêne occasionnée au mouvement de l'eau, dans laquelle ils flottent en longs festons.

Cette diminution de section varie, à son maximum, sur les canaux de la Lombardie, entre le quart et le vingtième de la section réelle. C'est là un inconvénient majeur; car un égal volume d'eau étant généralement livré aux canaux d'arrosage bien organisés, ils subissent alors un exhaussement de niveau, qui peut avoir les plus fâcheuses conséquences. En effet, si les bouches n'étaient pas toutes rigoureusement pourvues de régulateurs, et, de plus, exactement surveillées, elles fonctionneraient alors sous un excédant de pression; ce qui augmenterait irrégulièrement leur dépense, et dérangerait toutes les prévisions que l'on aurait basées sur un débit normal. De sorte que, si le canal devait servir à l'arrosage et à la navigation, les bateaux s'y trouveraient fréquemment à sec, comme cela avait lieu sur le canal de Berguardo, avant que l'on eût pris les mesures nécessaires pour parer à cet inconvénient, qui s'y est fait vivement sentir.

Quant à indiquer une moyenne pour l'augmen-

tation qu'il convient d'assigner à la section ou à la largeur d'un canal, en vue de la croissance des plantes aquatiques, on ne le peut guère, attendu que cet effet est très-variable, et qu'il dépend du climat, de la nature du sol et de celle des eaux, de leur vitesse, et d'autres circonstances encore.

Dans les localités où certains canaux sont envahis rapidement par ces plantes nuisibles, on en voit d'autres qui en sont presque entièrement exempts. On est donc obligé, à cet égard, de se guider par analogie, et d'après de simples probabilités, basées sur la nature du terrain et sur celle des eaux.

Pour montrer l'utilité de ces considérations, je vais en faire l'application, en vérifiant, d'après la marche qui vient d'être tracée, la largeur connue d'un des canaux du nord de l'Italie; du canal d'Ivrée, par exemple.

Son volume d'eau total, mesuré à son origine, a été trouvé de 50 roues de Piémont, qui correspondent à $17^{m.c.},10$. Il s'obtiendrait également, d'après la méthode indiquée ci-dessus, en opérant comme il suit :

Débit des bouches.	$14^{m.c.},50$
Eaux perdues, ou déchet total, équivalant à peu près à 1,15 de ce débit.	2 60
Total pareil. . .	$17^{m.c.},10$

Pour avoir la largeur, les données à introduire dans la formule de Tadini sont les suivantes :

$$Q = 17^m,10 \quad h = 1^m,30 \quad \text{et } \cos.\varphi = 0^m,0008$$

on a alors, d'après la table donnée plus loin :

$$\sqrt{h} = 1.14 \quad h\sqrt{h} = 1.482 \quad \text{et } \cos.\varphi = 0,283.$$

De là résulte, pour la valeur de x, exprimant la largeur moyenne :

$$x = \frac{17.1}{50 \times 1.482 \times 0,0283} \text{ ou } x = 8^m,15$$

ce qui est bien exactement la largeur moyenne du canal d'Ivrée, à sa partie supérieure; c'est-à-dire avant le point où cette largeur commence à décroître, par suite de la diminution du volume d'eau.

On peut voir, au moyen de cette formule, quelle est l'influence des variations de la hauteur sur celle de la largeur. Ainsi, dans l'hypothèse d'une hauteur d'eau de $1^m,40$, et avec la même pente de $0^m,80$, on trouverait $x = 6^m,53$. Dans l'hypothèse de $h = 1^m,60$, on aurait $x = 5^m,34$. Enfin, pour $h = 1^m,20$, on aurait $x = 9^m,70$, et pour $h = 1^m$, $x = 12^m$, etc.

On voit d'après cela que, pour une même section, proprement dite, on a toujours le choix de faire varier, comme il convient, ses dimensions. On doit se régler, pour cela, sur les convenances

locales. En augmentant trop la largeur on occupe plus de terrain, et la hauteur d'eau étant alors diminuée, pourrait se trouver au-dessous du minimum de $0^m,90$ à 1 mètre, que réclame l'établissement des régulateurs. En donnant à l'eau trop de profondeur, elle tend davantage à dégrader le fond et les berges. On s'en tient donc, dans le plus grand nombre des cas, à une sorte de profil normal, dans lequel la largeur moyenne varie entre une fois et demie et deux fois la profondeur.

Sources éventuelles. — Eufin, ces diverser corrections opérées, pour arriver à la connaissance de la section réelle d'un canal d'arrosage, il reste encore à tenir compte d'une dernière considération, qui est celle des sources que l'on a la chance de découvrir, soit dans le cours même de l'exécution des travaux, soit à proximité, si l'on en fait la recherche. On verra, par les détails donnés dans le chapitre XXV, que, dans le nord de l'Italie, ces sources éventuelles sont d'une très-grande importance, et peuvent modifier d'une manière notable, soit le volume de l'eau que l'on se proposait de dériver des canaux principaux, soit la section, qu'on aurait d'abord calculée pour ce seul volume.

Mais, sur ce dernier article, plus encore que sur les précédents, les données que l'on peut avoir sont entièrement conjecturales; et ce que l'on doit faire de mieux, c'est de rechercher ce qui a eu lieu dans

des circonstances analogues à celle où l'on opère ; car il y a des localités où l'on n'a aucune chance de découvrir des sources, comme il y en a d'autres où l'on est à peu près assuré d'en rencontrer en creusant. Je ne puis donc que renvoyer, sur ce point, au chapitre spécial que je viens de citer.

Largeurs décroissantes. — Les calculs et les indications qui précèdent portent sur la mesure de la section, ou de la largeur des canaux, prise à leur origine, ou en amont des premières bouches de distribution. On conçoit bien que, si l'eau n'est introduite dans les canaux de cette espèce que pour y être distribuée, de proche en proche, sur les terres riveraines, ce serait en pure perte qu'on y maintiendrait une largeur constante, tandis que le volume contenu diminuerait graduellement. Il est donc de règle qu'on fasse toujours décroître cette largeur, en raison de la diminution de l'eau, restant dans la dérivation. On a vu, dans le tome Ier, page 251, qu'au canal d'Ivrée, ayant une longueur d'un peu plus de 72 kilomètres, les largeurs successives sont : 1° de $8^m,40$ sur environ 33 kilomètres ; ensuite de $7^m,50$ sur 27 kilom.; ensuite de $5^m,40$ sur 12 kilom. 1/2. On voit également, dans le tome Ier, page 225, que dans le projet de rétablissement du canal de Pierrelatte, dérivé de la rive gauche du Rhône, département de la Drôme, les largeurs doivent être : de 8 mètres, depuis la prise d'eau jusqu'à Douzère ; de 7 mètres, de là à Pierrelatte,

et décroître ainsi successivement jusqu'auprès de Montdragon.

Ce décroissement n'a pour ainsi dire pas de limites ; ou plutôt la largeur à l'extrémité d'un canal d'arrosage pourrait être réglée rigoureusement sur le débit des dernières bouches à desservir; puisque, au moyen d'un simple barrage-déversoir, on peut faire, à volonté, passer dans ces bouches la totalité du volume d'eau dérivé. Mais l'inspection du plus grand nombre de canaux de ce genre prouve que l'on n'a pas calculé aussi juste, ou que toutes les eaux disponibles ne sont pas encore utilisées; car la plupart d'entre eux versent un résidu assez considérable, soit aux cours d'eau naturels, soit aux canaux inférieurs dans lesquels ils ont leur débouché.

Section des canaux d'arrosage et de navigation. — Pour cette espèce de canaux, la section ne se détermine plus, généralement, de même que pour ceux qui ne doivent servir qu'au seul usage de l'irrigation. Mais il y a encore à faire ici d'importantes distinctions. Supposons, par exemple, que le canal dont il s'agit doive aboutir définitivement, comme font le Naviglio-Grande et celui de la Martesana, à une darse, ou bassin fermé par un barrage, et dans lequel toutes les eaux dépensées par la navigation, sur les biefs supérieurs, trouvent à être distribuées pour les arrosages ou pour les usines. Alors la portée d'eau, basée sur la dépense qui en

sera faite pour ces derniers usages, n'a pas besoin d'être modifiée, par la circonstance que la navigation en profitera aussi. Car, dès lors que la largeur et la hauteur d'eau du canal se maintiendront toujours au-dessus d'un minimum voulu, l'adoption de pentes modérées et celle d'un nombre convenable d'écluses à pertuis, seront les seules conditions à remplir, en ce qui touche le service des transports. Et l'on procédera, quant au calcul du volume d'eau et à celui de la section, comme on le ferait pour un canal de simple arrosage.

Voici l'application de ces considérations, au canal de la Martesana, qui se trouve dans ce cas. On a $Q = 25^m,70$ et $Q \times (1,15) = 29^m,75$; $\cos.\varphi = 0,0005$; $\sqrt{\cos.\varphi} = 2,03$; $h = 1^m,60$; $\sqrt{h} = 1,27$; $h\sqrt{h} = 2,03$; d'où l'on déduit, avec la formule ordinaire,

$$x = 13^m,08$$

ce qui est bien la largeur moyenne du canal susdit.

Dans le cas, au contraire, où un canal d'arrosage et de navigation n'aboutit point ainsi à un port ou bassin, fermé par un barrage; mais où, faisant partie d'une ligne navigable plus ou moins étendue, son débouché a lieu dans une rivière ou dans un canal inférieur, il arrive presque toujours que l'on continue de dépenser des éclusées, pour le passage des bateaux, montants et descendants, au delà de la limite inférieure des irrigations. Dès lors c'est là un élément de plus, dans le calcul du débit total de

la dérivation dont il s'agit ; et ce débit spécial devra se calculer d'après l'activité présumée du mouvement des bateaux, comme cela se pratique pour les canaux simplement navigables. La section s'établit en conséquence.

Tel est le cas du canal de Pavie, et dans ses derniers projets on avait bien eu égard à ces diverses circonstances. Si donc il éprouve, au préjudice de l'arrosage, une insuffisance de section qui exclut en été environ 1/14e de sa portée d'eau, ce résultat fâcheux n'est dû qu'à la croissance trop rapide des plantes aquatiques, dont il aurait fallu qu'on pût tenir compte à l'avance.

Section des colateurs. — Les colateurs sont placés dans des conditions diamétralement opposées à celles où se trouvent les canaux d'irrigation proprement dits. Dès lors, les règles qui président, soit à leur tracé, soit au choix de leur section, ne peuvent être les mêmes. Les fossés et canaux de cette dernière espèce reçoivent l'égouttement des terres mouillées par l'arrosage, comme les ruisseaux naturels reçoivent celui des terrains mouillés par la pluie. Leur largeur doit donc aller en croissant à mesure que leur longueur augmente ; et lorsqu'ils viennent déboucher dans les cours d'eau inférieurs, ils ne diffèrent en rien de leurs affluents naturels.

En un mot, l'écoulement s'opère ici tout à fait à l'état normal ; c'est-à-dire que, dans l'ensemble des

ramifications que présente un système de colateurs, aboutissant à un cours d'eau principal, la circulation s'opère, des rameaux vers le tronc, comme dans la nature.

Au contraire, dans un système d'arrosage, tout est inverse, puisque la circulation se fait du tronc vers les extrémités, et que, si l'on pouvait s'exprimer ainsi, les canaux d'irrigation seraient appelés, avec raison les effluents du cours d'eau dont ils dérivent. Dans l'ensemble des mouvements de terrain que réclame l'établissement d'un système d'arrosage, ces derniers canaux sont placés sur des faîtes, tandis que les colateurs occupent nécessairement les thalwegs. En un mot, dans leur situation respective, tout est opposé; de telle sorte que si l'on renversait le relief de la superficie d'un terrain, disposé comme il vient d'être dit, les colateurs deviendraient les canaux et rigoles d'arrosages, et *vice versâ.*

De cette situation naturelle des colateurs de différents ordres, il résulte un fait important, pour la détermination de leur section; c'est qu'on doit la calculer de manière qu'ils reçoivent non-seulement l'égouttement des irrigations de la contrée, mais encore le produit des eaux pluviales d'une région quelquefois plus étendue encore. On pourrait objecter qu'en temps de pluie on n'arrose pas; mais cela est indifférent, puisque si les eaux livrées au canal principal, ne trouvent pas leur débouché ac-

coutumé dans les canaux secondaires et les rigoles, il faut bien qu'on le leur procure par les fuyants ou déchargeoirs, qui aboutissent toujours dans les colateurs.

Observations diverses sur les sections. — Les méthodes précédentes ne s'appliquent pas en bloc à toute la ligne d'un canal projeté. Il arrive presque toujours, au contraire, que soit pour les convenances du tracé, soit pour d'autres motifs, on trouve de l'avantage à faire varier les pentes entre certaines limites, et conséquemment aussi les sections ; afin de conserver l'uniformité désirable dans le débit des eaux. Il y a, à cela, un avantage assez grand, qui est de pouvoir proportionner ces pentes à la résistance, ordinairement variable, des terrains à traverser. S'il arrive, par exemple, que le canal projeté se trouve avoir une certaine partie de son trajet ouvert dans un déblai de rocher, on ne manque jamais de profiter de cette circonstance pour lui donner, en cet endroit, le maximum de pente et le minimum de section, attendu que celle-ci devient beaucoup moins coûteuse à établir, et cet excédant de pente se trouve racheté par une diminution équivalente, à la traversée des terrains les moins résistants. La pente des aqueducs, ponts-aqueducs et siphons doit aussi se régler d'après cette même considération, puisque le cube des maçonneries diminue ordinairement dans un rapport considérable avec la diminution du débouché, et

que l'augmentation de vitesse de l'eau y est au contraire sans inconvénient.

Dès que l'eau est mise en mouvement dans un canal nouvellement ouvert, les sections qui y ont été établies, en rapport avec telle ou telle nature du sol, tendent toujours à se modifier, plus ou moins, par le régime, et par la nature, de l'eau qui y coule. Avec des eaux claires et beaucoup de vitesse, le lit se dégrade, et cet effet se manifeste principalement sur les parties les moins résistantes; avec des eaux troubles et peu de vitesse, on n'aurait à attendre que des dépôts, et peu ou point de corrosions. L'un et l'autre de ces inconvénients sont à éviter. Le premier serait encore le plus grave en ce que l'enlèvement continuel des matières provenant des dégradations du lit tendrait à l'élargir indéfiniment; ce qui pourrait finir par modifier d'une manière notable les conditions de son établissement, relativement aux propriétés riveraines.

C'est dans ce cas surtout qu'il est très-important de conserver, de distance en distance, la section normale de la dérivation, au moyen d'un certain nombre de profils en maçonnerie, plus ou moins rapprochés, et qui étant à l'abri des corrosions, servent à rétablir cette section dans les parties où, lors des curages, on aurait souvent de la peine à en reconnaître les dimensions primitives. Dans les canaux qui ont peu de hauteur d'eau, relativement à leur largeur, ce sont les berges qui se dégradent; dans le cas in-

verse, c'est principalement le fond. On peut avoir égard à cette circonstance dans la manière de placer les revêtements partiels dont je parlerai au chapitre XXIV, et dont il n'a été question ici que comme moyen conservateur de la section.

Les considérations contenues dans ce chapitre, relativement au choix des pentes et des sections, sont à la fois ce qu'il y a de plus important, de plus spécial, et de plus difficile, dans l'art d'établir les canaux d'arrosage. J'ai donc dû traiter cet objet fondamental avec les details qu'il réclamait. Le choix le plus convenable du système de pentes, et celui des sections correspondantes, demande beaucoup de tâtonnements, de comparaisons, et d'épreuves successives. L'extraction des racines carrées, que comporte la formule indiquée pour cet usage, exigeant des calculs un peu longs, je donne ici, dans le but d'épargner le temps des ingénieurs, une table des valeurs successives des quantités h, $\sqrt{h}$, et $h\sqrt{h}$, depuis 1 jusqu'à 200, ce qui comprend tous les cas usuels pour les hauteurs d'eau des canaux qui atteignent bien rarement $2^m,00$. Quant aux fractions décimales, on observera qu'on ne peut chercher des carrés que parmi celles qui ont un nombre pair de chiffres après la virgule, et c'est surtout ce qui rend utile l'emploi de la table suivante, dans les limites où elle est présentée.

Par exemple, si l'on a $h = 1^m,40$, on observera que $h = \frac{140}{100}$; que $\sqrt{h} = \sqrt{\frac{140}{10}}$; et que $h\sqrt{h} = \frac{140.\sqrt{140}}{1000}$. Dès lors on trouvera immédiatement, sans aucun calcul, à l'aide de la table suivante, $\sqrt{h} = 1,1832$, et $h\sqrt{h} = 1,6565$.

Ladite table servira aussi à trouver, pour le même usage, la valeur de $\sqrt{\cos.\varphi}$, qui entre également dans l'expression de la largeur moyenne des canaux, dont on a préalablement fixé la portée d'eau et la pente. La valeur de cos. φ ne peut guère varier qu'entre les limites suivantes :

$$\text{Cos.}\,\varphi = 0,0002 \quad \text{et} \quad \cos.\,\varphi = 0,0016.$$

Enfin cette même table aura encore une autre utilité pour les études relatives à la mesure et à la distribution des eaux, puisque le produit $h\sqrt{h}$, qu'elle donne sans calcul, entre aussi, avec l'emploi de coefficients variables, dans l'expression de la dépense théorique, qui a lieu, soit par un orifice, soit par un déversoir.

Voici cette table ; elle n'est qu'un abrégé de celle qui a été calculée par De Regi.

h	$\sqrt{h}$	$h.\sqrt{h}$	h	$\sqrt{h}$	$h.\sqrt{h}$
1	1,00000	1,00000	51	7,14143	364,21293
2	1,41421	2,82842	52	7,21110	374,97720
3	1,73205	5,19615	53	7,28011	385,84583
4	2,00000	8,00000	54	7,34847	396,81738
5	2,23607	11,18035	55	7,41620	407,89100
6	2,44949	14,69694	56	7,48331	419,06536
7	2,64575	18,52025	57	7,54983	430,34031
8	2,82843	22,62744	58	7,61577	441,71466
9	3,00000	27,00000	59	7,68114	453,18726
10	3,16228	31,62280	60	7,74597	464,75820
11	3,31662	36,48282	61	7,81025	476,42525
12	3,46410	41,56920	62	7,87401	488,18862
13	3,60555	46,87215	63	7,93725	500,04675
14	3,74166	52,38324	64	8,00000	512,00000
15	3,87298	58,09470	65	8,06226	524,04690
16	4,00000	64,00000	66	8,12404	536,18664
17	4,12310	70,09270	67	8,18535	548,41845
18	4,24264	76,36752	68	8,24621	560,74228
19	4,35890	82,81910	69	8,30662	573,15678
20	4,47213	89,44260	70	8,36660	585,66200
21	4,58257	96,23397	71	8,42615	598,25665
22	4,69041	103,18902	72	8,48528	610,94016
23	4,79583	110,30409	73	8,54400	623,71200
24	4,89898	117,57552	74	8,60232	636,57168
25	5,00000	125,00000	75	8,66025	649,51875
26	5,09902	132,57452	76	8,71780	662,55280
27	5,19615	140,29605	77	8,77496	675,67192
28	5,29150	148,16200	78	8,83176	688,87728
29	5,38516	156,16974	79	8,88819	702,16701
30	5,47722	164,31660	80	8,94427	715,54160
31	5,56776	172,60056	81	9,00000	729,00000
32	5,65685	181,01920	82	9,05538	742,54116
33	5,74456	189,57048	83	9,11043	756,16569
34	5,83095	198,25230	84	9,16515	769,87260
35	5,91608	207,06280	85	9,21954	783,66090
36	6,00000	216,00000	86	9,27362	797,53132
37	6,08276	225,06212	87	9,32738	811,48206
38	6,16441	234,24758	88	9,38083	825,51304
39	6,24500	243,55500	89	9,43398	839,62422
40	6,32455	252,98200	90	9,48683	853,81470
41	6,40312	262,52792	91	9,53939	868,08449
42	6,48074	272,19108	92	9,59166	882,43272
43	6,55744	281,96992	93	9,64365	896,85945
44	6,63325	291,86300	94	9,69536	911,36384
45	6,70820	301,80900	95	9,74679	925,94505
46	6,78233	311,98718	96	9,79796	940,60416
47	6,85565	322,21555	97	9,84886	955,33942
48	6,92820	332,55360	98	9,89949	970,15002
49	7,00000	343,00000	99	9,94987	985,03713
50	7,07107	353,55350	100	10,00000	1000,00000

h	$\sqrt{h}$	$h.\sqrt{h}$	h	$\sqrt{h}$	$h.\sqrt{h}$
101	10,04987	1015,03687	151	12,28820	1855,51820
102	10,09950	1030,14900	152	12,32883	1873,98216
103	10,14889	1045,33567	153	12,36932	1892,50596
104	10,19804	1060,59616	154	12,40967	1911,08918
105	10,24695	1075,92975	155	12,44990	1929,73450
106	10,29563	1091,33678	156	12,49000	1948,44000
107	10,34408	1106,81656	157	12,52996	1967,20372
108	10,39230	1122,36840	158	12,56980	1986,02840
109	10,44031	1137,99379	159	12,60952	2004,91368
110	10,48809	1153,68990	160	12,64911	2023,85760
111	10,53565	1169,45715	161	12,68858	2042,86138
112	10,58300	1185,29600	162	12,72792	2061,92304
113	10,63014	1201,20582	163	12,76714	2081,04382
114	10,67708	1217,18712	164	12,80625	2100,22500
115	10,72380	1233,23700	165	12,84523	2119,46295
116	10,77033	1249,35828	166	12,88410	2138,76060
117	10,81665	1265,54805	167	12,92285	2158,11595
118	10,86278	1281,80804	168	12,96148	2177,52864
119	10,90871	1298,13649	169	13,00000	2197,00000
120	10,95445	1314,53400	170	13,03840	2216,52800
121	11,00000	1331,00000	171	13,07670	2236,11570
122	11,04536	1347,53392	172	13,11488	2255,75936
123	11,09054	1364,13642	173	13,15295	2275,46035
124	11,13553	1380,80572	174	13,19090	2295,21660
125	11,18034	1397,54250	175	13,22876	2315,03300
126	11,22497	1414,34622	176	13,26650	2334,90400
127	11,26943	1431,21761	177	13,30413	2354,83101
128	11,31371	1448,15488	178	13,34166	2374,81548
129	11,35782	1465,15878	179	13,37909	2394,85711
130	11,40175	1482,22750	180	13,41641	2414,95380
131	11,44552	1499,36312	181	13,45362	2435,10522
132	11,48912	1516,56384	182	13,49074	2455,31468
133	11,53256	1533,83048	183	13,52775	2475,57825
134	11,57584	1551,16256	184	13,56466	2495,89744
135	11,61895	1568,55825	185	13,60147	2516,27195
136	11,66190	1586,01840	186	13,63818	2536,70148
137	11,70470	1603,54390	187	13,67479	2557,18573
138	11,74734	1621,13292	188	13,71131	2577,72628
139	11,78983	1638,78637	189	13,74773	2598,32097
140	11,83216	1656,50240	190	13,78405	2618,96950
141	11,87434	1674,28194	191	13,82027	2639,67157
142	11,91637	1692,12454	192	13,85641	2660,43072
143	11,95826	1710,03118	193	13,89244	2681,24092
144	12,00000	1728,00000	194	13,92839	2702,10766
145	12,04159	1746,03055	195	13,96424	2723,02680
146	12,08305	1764,12530	196	14,00000	2744,00000
147	12,12435	1782,27945	197	14,03567	2765,02699
148	12,16552	1800,49696	198	14,07125	2786,10750
149	12,20655	1818,77595	199	14,10673	2807,23927
150	12,24745	1837,11750	200	14,14213	2828,42600

CHAPITRE VINGT-DEUXIÈME.

TRACÉ DÉFINITIF.—PROJETS.

§ I. *Tracé et profil du canal.*

Tracé définitif. — J'ai cherché à faire ressortir, dans le chapitre précédent, l'importance, ainsi que la difficulté, du choix des pentes et des sections, dans le projet d'un canal d'arrosage. Tout cela n'existe pas pour les canaux de simple navigation, où il n'y a pas de courant proprement dit, et où les volumes d'eau à dépenser, pour le service des bateaux, se puisent dans des biefs à niveau mort. Les seuls points où elle soit en mouvement, dans les canaux de cette espèce, se trouvent dans l'emplacement des écluses, qui sont bien garnies de murs et de radiers; de sorte que l'on n'a à s'occuper ni des difficultés relatives à la résistance du terrain, qui met des limites à la vitesse de l'eau, ni de la détermination correspondante des sections, qui doivent varier ici, soit avec les modifications de la pente, soit d'après la diminution progressive du volume d'eau.

En raison de ces circonstances, le tracé des canaux d'arrosage est, comme je l'ai dit au commencement de ce livre, une des plus difficiles de toutes

les opérations qui réclament le concours d'ingénieurs habiles et spéciaux. J'ai donc dû, dans le chapitre précité, traiter cet objet avec les détails nécessaires; et si les bornes de cet ouvrage m'eussent permis de donner quelques développements de plus sur la matière du livre V, c'est encore là qu'ils auraient dû se placer.

Le tracé définitif d'un canal d'arrosage, comme les tracés provisoires dont il a été question plus haut, est entièrement gouverné par la détermination préalable et fondamentale des pentes qui peuvent convenir dans une localité donnée; c'est donc sur ces pentes elles-mêmes, ou plutôt sur des inclinaisons un peu plus faibles, que l'on doit baser l'opération du tracé, qui peut se faire, soit au niveau de pente, soit au niveau horizontal, pourvu que l'un et l'autre de ces instruments, parfaitement vérifiés, soient d'une rigoureuse précision.

Quant à la manière de faire ce tracé, on ne saurait indiquer de règle invariable, qui puisse convenir à toutes les localités; car suivant la déclivité naturelle et les mouvements du terrain, le mode d'opération varie nécessairement d'un lieu à un autre. Je ne puis donc que me renfermer ici dans quelques préceptes généraux, qui doivent toujours servir de guide dans les opérations de cette espèce, quelles que soient d'ailleurs les circonstances locales.

Encore bien que les opérations, tendant à l'éta-

blissement des canaux dont il s'agit, n'aient pas les mêmes règles que celles qui se pratiquent dans le tracé des routes ou des canaux de navigation, quoiqu'il y ait, dans le cas actuel, beaucoup de sujétions nouvelles, quoique l'égalité que l'on a ordinairement pour but d'obtenir entre les déblais et les remblais devienne souvent impossible, il n'est pas moins vrai qu'entre plusieurs tracés admissibles il y en a toujours un plus économique, ou pour mieux dire, plus avantageux que les autres. C'est celui-là que l'on doit trouver, et adopter.

Il est d'ailleurs certaines règles applicables au tracé de tous les ouvrages analogues et dont la prudence la plus ordinaire doit conseiller l'observation. Ainsi on évitera également de traverser les terrains très-bas, qui exigeraient de trop grands remblais, et les terrains très-élevés, où il faudrait creuser des tranchées d'une grande profondeur. On redoutera plus soigneusement encore les mauvais fonds et les sols éminemment perméables, tels que les bancs de gravier, les anciennes carrières et autres endroits semblables où les eaux ne peuvent être maintenues qu'au moyen de travaux d'étanchement très-coûteux. Toutes les fois que l'on aura le choix entre plusieurs lignes, également bien situées, la plus courte ou la plus directe devra toujours être préférée. Enfin on tâchera de concilier autant que possible, l'obligation de tenir le canal à la hauteur voulue, au-dessus du niveau des campagnes à ar-

roser, avec l'économie des terrassements, et surtout des emprunts.

Telles sont les seules règles générales sur lesquelles on puisse se guider dans le tracé des canaux d'irrigation. Mais chaque terrain a sa situation caractérisée par des circonstances différentes; et leur observation attentive, basée sur les considérations développées dans cet ouvrage, conduira toujours à l'adoption des règles particulières pouvant faire connaître le meilleur tracé.

Une des plus sûres méthodes pour arriver à l'économie des terrassements et à l'égalité, aussi approximative que possible, entre les déblais et les remblais, consiste à faire d'abord, en se tenant, autant qu'on le peut, à zéro du terrain naturel, un premier tracé avec des pentes un peu inférieures à celles qu'on se propose de conserver; et soit que ce tracé puisse être valable et définitif, soit qu'il doive être en partie abandonné, il jette toujours beaucoup de lumière sur les moyens d'approcher autant que possible de celui qui est plus économique. Mais il arrive, dans un grand nombre de cas, que les tracés faits de cette manière, et qui se tiennent généralement à mi-côte, dans les vallées, sont à la fois les moins coûteux et les meilleurs sous tous les rapports.

Si le terrain est un peu accidenté, et surtout entrecoupé de petits vallons ou de contreforts, alors les nivellements, dans ce système, donnent des

directions qui ne pourraient être conservées comme définitives, attendu qu'elles présenteraient beaucoup trop d'angles et de lignes brisées. Ici, plus qu'en toute autre circonstance, il est du plus grand intérêt d'observer que les courbures de l'axe sont assujetties à être presque insensibles, ou du moins extrêmement douces et arrondies; comme le sont d'ailleurs toujours les contours des eaux courantes naturelles, d'un bon régime. Les coudes et les brusques sinuosités doivent être soigneusement proscrits; car ils équivaudraient à une diminution notable du débouché, ou de la section, qui doit être exactement calculée. Il en résulterait donc le triple inconvénient : 1° de déranger tous les calculs qu'on aurait basés sur l'emploi utile d'un certain volume d'eau; 2° de rendre inutile la dépense faite pour établir le canal, avec sa section effective, dans les portions exemptes de cette fâcheuse influence; 3° de supporter ou des frais de revêtements, ou des frais d'entretien et de curage, très-considérables, par suite des dégradations qui ne manquent jamais de se produire dans les coudes des canaux à eau courante. On comprend donc aisément combien ce défaut serait capital.

J'ai vu des projets de canaux d'arrosage que l'on présentait comme complétement étudiés et comme prêts à être mis à exécution, quoique cette précaution essentielle fût loin d'y avoir été observée. Leur plan, dans certaines portions correspondantes

aux terrains accidentés, aurait pu véritablement être pris pour celui des fortifications d'une place de guerre, tant il présentait d'aspérités et de petites portions de lignes droites, se brisant sous des angles aigus.

Mais de ce qu'un tracé de cette espèce est, dans certains cas, inadmissible pour l'axe même d'un canal d'arrosage, il n'est pas moins très-utile comme opération transitoire servant à faire connaître la ligne qui correspondrait au minimum de terrassements; ligne qu'il est toujours très-important de connaître. Et attendu que c'est toujours dans son voisinage que se trouve le tracé le plus avantageux, on se sert de cette première indication du nivellement en y traçant, soit sur le papier, soit sur le terrain, une ligne à contours larges et adoucis, qui laissant à droite et à gauche les principales aspérités de la ligne brisée, résultant de cette première étude, suit néanmoins, dans son ensemble, sensiblement le même trajet. Le parcours primitif est alors toujours raccourci; et conséquemment les pentes se trouvent un peu augmentées. C'est pourquoi j'ai eu soin de dire qu'on devait, en faisant ce premier nivellement de pente, employer constamment des inclinaisons un peu plus faibles que celles que l'on se propose d'adopter définitivement.

En ce qui touche le développement des courbes, il n'y a rien de fixe; mais plus elles seront ou-

vertes ou à grand rayon, plus elles seront convenables. On peut regarder 150 à 100 mètres comme un minimum qu'il ne faudrait pas dépasser.

Dès que l'on a ainsi bien arrêté la ligne du tracé qui doit être regardé comme définitif, on procède sur sa direction à un dernier nivellement très-exact qui donne le profil longitudinal du projet sur lequel on établit la ligne d'eau et la ligne du fond du canal. Ce tracé définitif doit être indiqué exactement sur le terrain, tant dans les parties rectilignes que dans les courbes, par des bornes solidement établies; et de plus tous les brisements de pente doivent l'être par des repères invariables, que l'on puisse toujours retrouver, même au bout de plusieurs années, si des retards survenaient entre la rédaction du projet et l'exécution des ouvrages. Un sillon de $0^m,20$ à $0^m,30$ de profondeur, tracé à la charrue, indique sur le terrain l'emplacement réel de l'axe du canal, et enfin il est essentiel que deux sillons semblables, un peu moins profonds, puissent indiquer latéralement le périmètre des terrains à occuper pour l'établissement, soit du canal seul, soit du canal accompagné de ses francs bords.

Telles sont les observations qu'il était utile de faire, sur le tracé des canaux d'arrosage. Si celui dont on fait l'étude doit servir en outre à la navigation, on devra tenir compte, comme je l'ai fait remarquer dans le chapitre précédent, du sens dans lequel aura lieu le principal mouvement des

bateaux chargés. Dans le cas général, on observera, quant à cette dernière destination, les conditions d'usage en ce qui touche le minimum de longueur des biefs et l'égalité, qu'il serait désirable d'obtenir, dans les chutes des écluses. Je ferai remarquer que ce dernier point, qui est très-essentiel pour l'économie de l'eau sur les canaux de simple navigation, est moins indispensable à remplir sur ceux de navigation et d'arrosage, attendu que, dans ce dernier cas, la présence du pertuis spécial qui accompagne chaque écluse, permet toujours de transmettre, d'un bief à un autre, tel volume d'eau que l'on juge convenable pour en égaliser la répartition.

Établissement du profil. — Je n'ai parlé, dans le chapitre précédent, de la section des canaux d'arrosage que comme capacité strictement nécessaire pour contenir le volume d'eau qu'il s'agit de conduire. Mais cette section, qui est représentée par le trapèze compris entre le plan d'eau et le fond du canal, n'est qu'une partie du profil transversal. Celui-ci comprend encore des berges, et des talus, tant pour les déblais que pour les remblais. C'est sur ce dernier point qu'il me reste à donner quelques renseignements.

La hauteur des berges, qui se mesure entre le niveau normal de l'eau et le couronnement des remblais, ou banquettes, doit être minime dans les canaux d'arrosage, surtout s'ils sont régulièrement

alimentés. A la rigueur $0^m,15$ à $0^m,20$ suffiraient; mais ne serait-ce qu'à cause des exhaussements que peut amener périodiquement la croissance des plantes aquatiques, on est obligé d'admettre plus de latitude; et l'on prend, dans les cas les plus favorables, à peu près le double du chiffre ci-dessus, c'est-à-dire de 0,40 à 0,45, comme cela est indiqué dans les figures 12 et 16 de la pl. XI, représentant des profils de divers canaux particuliers de la Lombardie. Si le canal doit être navigable on augmente, d'une certaine quantité, cette hauteur de berge, à cause de l'exhaussement produit par le volume d'eau déplacé par les bateaux, et à cause des mouvements ondulatoires que leur circulation occasionne.

Quant aux talus, soit en déblai, soit en remblai, leur inclinaison varie toujours suivant la nature du terrain sur lequel on opère.

Le double but qu'il s'agit de remplir est de concilier l'économie des frais de terrassements, dans l'exécution du canal, avec l'économie des frais ultérieurs de curage, qui sont excessivement augmentés quand les talus se dégradent.

Il est clair que si une portion de canal est à ouvrir dans le rocher ou doit lui donner la section correspondante au minimum de déblai; elle est d'une forme rectangulaire; c'est-à-dire avec des talus nuls.

Dans les cas ordinaires, si l'on creuse dans des

terrains solides, on adopte, pour les talus en déblai, des inclinaisons variables depuis $\frac{1}{2}$ jusqu'à 1 de base pour 1 de hauteur. Tout dépend, en un mot, du plus ou moins de stabilité du terrain, qui doit se dégrader le moins possible, sous les influences combinées de l'humidité et de la sécheresse, des pluies, de la gelée, etc.

Quand le plafond du canal ne se trouve qu'à une profondeur de 4 à 5 mètres au-dessous du niveau du sol, les talus en déblai se dressent toujours en un seul plan, sous l'inclinaison convenable à la nature du terrain, comme cela est représenté par les profils que donnent les fig. 8....12 de la pl. x, où ces inclinaisons ont pour base environ $0^m,75$ de la hauteur. Au delà de cette profondeur, les déblais deviennent de véritables tranchées, et leur profil, tout en conservant le même talus, se dispose, par retraites successives, ou avec des banquettes, ainsi que le représentent les fig. 13, 14, pl. x; 13, 15 et 16, pl. xi.

Quelle que soit la destination du canal, il est utile d'établir inférieurement ces banquettes, avec une largeur convenable, à une très-petite distance au dessus du plan d'eau, ainsi qu'on le voit dans les profils de la pl. xi, sauf à les reproduire dans la partie moyenne de la tranchée (fig. 13 et 15). S'il y a une navigation, ces banquettes inférieures sont indispensables pour le halage; s'il n'y en a pas, elles sont presque aussi utiles, comme franc bord,

notamment dans le temps des curages. Ce système, qui donne à la section des canaux, dans les tranchées, la figure résultant de la superposition de plusieurs trapèzes, a surtout l'avantage qu'on doit le plus rechercher ici, celui de recevoir sur les banquettes, où on les enlève facilement, les terres provenant de la dégradation des talus supérieurs; car sans cela elles tomberaient dans le canal.

Les remblais que l'on peut avoir à former avec des déblais de roche prennent le talus qu'on veut leur donner, attendu que ces mêmes remblais approchent plus ou moins d'une maçonnerie grossière; on peut donc dresser leurs talus sous des inclinaisons inférieures à 45°, ce qui n'est pas possible avec toute autre nature de terrain. Pour les terres ordinaires, on est presque toujours au delà de ce chiffre; et si, pour économiser l'espace, on juge convenable d'adopter moins de 1 $\frac{1}{2}$, on ne peut guère rester au-dessous de 1 $\frac{1}{3}$.

Les grands remblais sont assez communs sur les canaux d'arrosage; et j'en ai dit les raisons. On leur donne ordinairement pour profil un seul trapèze (fig. 14, pl. XI). La disposition par retraites (fig. 12) a été quelquefois adoptée, mais on ne s'y est pas arrêté, et l'on conçoit bien qu'elle n'a plus la même utilité que dans les tranchées.

Le cas où il y aurait, au pied du talus extérieur, un contre-fossé habituellement plein d'eau, est

donc à peu près le seul dans lequel on puisse recommander cette disposition.

§ II. *Rédaction des projets.*

Les avant-projets que l'on dresse, en premier lieu, soit pour se rendre compte de la possibilité des entreprises d'irrigation, soit pour soumettre ces mêmes entreprises aux enquêtes d'usage et à la sanction de l'autorité supérieure, sont ordinairement composés : 1° d'un mémoire explicatif du projet ; 2° d'un tableau général de tous les ouvrages à exécuter ; 3° de plans d'ensemble ou de cartes indicatives du tracé général, dans une ou plusieurs suppositions ; 4° d'un ou plusieurs profils en long, accompagnés d'un nombre suffisant de profils en travers, correspondant aux diverses directions proposées ; 5° d'une estimation des dépenses ; 6° des documents particuliers que l'on jugerait utile de joindre aux pièces précédentes.

Les projets définitifs demandent à être rédigés avec beaucoup de soin et avec tous les détails nécessaires. J'ai eu sous les yeux, soit en France, soit en Italie, beaucoup de projets de cette espèce, et j'ai remarqué qu'ils manquaient surtout d'uniformité. Tantôt, pour des ouvrages d'intérêt minime, ils étaient présentés avec une étendue et des développements trop considérables. Dans d'autres cas, pour des travaux d'intérêt majeur, entraînant de

grandes dépenses, on se bornait à des appréciations non détaillées, telles qu'elles pourraient, tout au plus, convenir pour un avant-projet.

Cependant, soit comme garantie de la bonne exécution des ouvrages, soit pour faciliter l'examen des nombreux projets qui sont soumis journellement à la sanction du ministère des travaux publics, il est utile que ces projets soient tous rattachés à un modèle uniforme. Celui qui est adopté en France, pour les travaux dépendant de l'administration des ponts et chaussées, est tout à fait convenable; on ne peut mieux faire que d'en suivre les dispositions. Une des principales de celles qui ont été l'objet de cette mesure, dont le besoin s'est fait longtemps sentir, a été de séparer entièrement les unes des autres les pièces ayant un objet différent.

Ainsi tout projet, régulièrement présenté, doit contenir d'une manière distincte : 1° un rapport ou mémoire explicatif; 2° un plan terrier ou parcellaire, avec un tableau indicatif des superficies de terrain à occuper; 3° le devis et le cahier des charges; 4° l'avant-métré des travaux; 5° l'analyse des prix; 6° le détail estimatif desdits travaux. Plus tout le travail graphique spécialement relatif à l'exécution des ouvrages, et comprenant : 7° une carte topographique, ou plan général qui doit s'étendre à toute la région arrosable des territoires qui sont compris dans le projet; 8° le plan particulier du tracé de l'axe du canal, avec l'indication des alignements

droits ou courbes et de leurs repères; 9° le profil longitudinal présentant le système complet des pentes, avec leurs repères et leurs longueurs, tant partielles que cumulées, ainsi que la coupe exacte des surfaces en déblai et en remblai; 10° l'ensemble des profils en travers; 11° les dessins d'ouvrages d'art, avec plans, coupes et élévations; 12° enfin le résultat des observations particulières que l'on aurait jugé utile de faire sur le régime particulier et notamment sur les étiages, de la rivière, dans laquelle s'alimente le canal projeté; ou bien des variantes que l'on pourrait être dans le cas d'admettre, soit dans le tracé de certaines parties du canal, soit dans la disposition de ses ouvrages d'art. Ce dernier document est ordinairement supprimé après l'approbation définitive.

Tel est l'ensemble des pièces qui doivent composer le projet complet d'un canal d'arrosage. Je dirai sommairement quelques mots sur chacune d'elles.

Le rapport à l'appui du projet n'est qu'un résumé succinct des principales dispositions qui y sont adoptées. Il doit porter principalement sur celles de ces dispositions qui sortiraient plus ou moins des règles ordinaires, aller au devant des objections, et justifier toutes les dispositions adoptées. On y discute les avantages et les inconvénients de l'entreprise; on y établit l'emploi utile du volume d'eau dont on dispose, relativement à la superficie du terrain qui est apte à profiter du bé-

néfice de l'irrigation; ne rien laisser, en un mot, de vague ou d'incomplet dans l'ensemble des dispositions qui doivent être soumises tant à la sanction de l'autorité compétente, qu'à l'appréciation des personnes intéressées à l'entreprise.

Le plan parcellaire, accompagné du tableau général des surfaces à acquérir, doit être dressé sur une échelle assez grande, pour présenter la situation et les contenances exactes de toutes les parcelles de terrain qui doivent être traversées, entamées, ou seulement endommagées, par le canal et ses dépendances; on doit donc y figurer, en rouge, non-seulement l'axe du tracé, mais la projection réelle des talus, mesurés à l'extrémité supérieure, pour les déblais, et à l'extrémité inférieure, pour les remblais. On doit aussi s'occuper des francs-bords, dont la largeur, pour un petit canal de simple irrigation, est au minimum de $0^m,60$ à $1^m,00$. Il est même d'usage d'acquérir, en sus de ce qui est strictement nécessaire pour l'établissement des talus, une petite zone de terrain de $0^m,40$ à $0^m,50$ de largeur; soit pour prévoir le cas où il est nécessaire de donner à ces talus un peu plus d'inclinaison qu'on ne le pensait, soit pour éviter, de la part des riverains, les plaintes qui seraient fondées sur le glissement ou l'éboulement des terres.

Les numéros du plan terrier sont reportés sur un tableau général, qui, pour être complet, doit con-

tenir les dix colonnes répondant aux titres suivants : Numéros du plan ; — noms des propriétaires sur la matrice cadastrale ; — noms des propriétaires actuels ; — numéros et sections de chaque parcelle sur la matrice cadastrale ; — nature et qualité des terrains ; — contenances totales ; — superficies occupées ; — prix de l'unité ; — sommes dues ; — observations.

On doit faire aussi le relevé préalable des terrains qui seront seulement occupés temporairement, ou endommagés, par l'exécution des travaux, et qui donnent lieu, dès lors, à des indemnités différentes de celles qu'on doit payer pour l'occupation définitive.

Les ingénieurs milanais présentent ordinairement, pour cet objet, deux tableaux distincts et très-détaillés, dans lesquels les superficies à occuper, par le canal et ses dépendances, sont établies d'après les dimensions réelles de chaque partie. Le premier tableau a dix-huit colonnes, qui portent les intitulés suivants : Numéros d'ordre ; — noms des propriétaires ; — nature et qualité du fonds ; — territoire communal ; — numéros du plan ; — profondeur du canal, — 1° à l'origine, — 2° à la fin ; — largeur, — 1° à l'origine, — 2° à la fin ; — superficie réduite du canal et de ses francs-bords ; — longueur de chaque portion ; — largeur ou base des talus, — 1° à l'origine, — 2° à la fin, — 3° réduite ; — superficies occupées, — 1° par le canal

et ses francs-bords, — 2° par les talus extérieurs; — largeur moyenne de chaque portion de canal; — cube des déblais.

Le deuxième tableau, comprenant l'évaluation détaillée de chaque parcelle à occuper ou à endommager par les travaux du canal, contient les treize colonnes suivantes : — Numéros d'ordre; — noms des propriétaires; — nature et qualité du fonds; — territoire communal; — numéros du plan; — superficies occupées par le canal et ses francs-bords, — 1° en nature de pré, — 2° en nature de champ; — superficies occupées par les terres en dépôt, — 1° en nature de pré, — 2° en nature de champ; — prix de l'unité, pour les terrains occupés par le canal et ses francs-bords; — dépenses à faire; — prix de l'unité pour les superficies occupées temporairement par le dépôt des terres; — dépenses; — montant total.

Ce n'est qu'à l'aide de tableaux semblables que l'on pourra se rendre un compte bien exact de la classe de dépenses relatives, tant aux dommages temporaires qu'aux terrains à acquérir, soit à l'amiable, soit par expropriation, soit d'après un système intermédiaire entre ces deux modes.

Le devis, comprenant le cahier des charges, doit être divisé en six chapitres. Le premier contient la description du tracé, par ses points principaux; l'indication des alignements, tant rectilignes que curvilignes, avec celle de leurs longueurs

respectives, de leurs repères sur le terrain, des angles formés par les alignements adjacents, des rayons des courbes de raccordement, etc. Il présente ordinairement plusieurs tableaux. L'un des plus importants est celui du système complet des pentes, dressé d'après le profil en long du projet. Il a six colonnes, qui répondent aux titres suivants: Désignation des pentes et de leurs repères sur le terrain; — comprises entre les profils; — numéros d'ordre des ouvrages d'art; — longueur; — pente par mètre; — abaissement. — Le chiffre auquel on arrive, à la fin du tableau, par la somme des abaissements partiels ainsi calculés, doit être sensiblement le même que celui qui est fourni immédiatement par la différence entre la cote d'arrivée et la cote de départ du nivellement général.

Ce même chapitre donne la description des profils transversaux du canal, ou des sections proprement dites; elles doivent varier, soit avec le volume décroissant de l'eau dérivée, soit avec les pentes, qui se modifient elles-mêmes d'après la nature du terrain. Chacune de ces différentes sections est l'objet d'un dessin particulier, auquel est jointe l'indication précise des points du tracé entre lesquels elle est applicable. On indique aussi l'inclinaison des talus, soit en déblai, soit en remblai, tant pour le canal que pour les contre-fossés, s'il doit en avoir; les dispositions spéciales adoptées pour le profil transversal, dans les tranchées ainsi que dans

les grands remblais; en un mot, tout ce qui concerne les terrassements.

Le chapitre II du devis général a pour but de donner la désignation exacte des ouvrages d'art faisant partie du projet. On y décrit leurs dimensions respectives et leur système de construction. Il est plusieurs de ces ouvrages, tels que les revêtements de berge, murs de soutènement, petits aqueducs, vannes et empèlements de décharge, etc., qui peuvent être compris dans un ou plusieurs tableaux, et évalués en bloc, ou au mètre courant; mais, pour les ouvrages plus importants, tels que les grands déversoirs, les ponts ou ponts-canaux, siphons, et écluses de navigation, il est d'usage d'en faire l'objet de projets séparés.

Le chapitre III est destiné à faire connaître les lieux d'extraction, la qualité, la préparation et l'emploi des matériaux. Il renferme principalement un tableau à six colonnes, portant les titres suivants : Indication des parties de canal; — numéros d'ordre des lieux d'extraction; — nature des matériaux; — indication des lieux d'extraction; — distance de ces lieux au canal; — distances réduites des transports.

Le chapitre IV s'applique au mode d'exécution des terrassements. Il règle de quelle manière sera fait le piquetage et le tracé définitif des alignements droits ou courbes; comment seront exécutés et dressés les terrassements, dans les différentes na-

tures de terrain à fouiller; comment seront employés les déblais et remblais, notamment en ce qui concerne les emprunts et dépôts, que l'on peut être dans la nécessité d'effectuer. Les délais exigés pour le tassement complet des remblais, avant qu'on puisse mettre l'eau dans le canal, sont une des prescriptions essentielles à insérer ici.

Le cinquième chapitre du devis détermine le mode d'exécution des ouvrages d'art, et en particulier celui de leurs fondations. Il prescrit la qualité et le choix des matériaux à y employer; le mode d'extinction de la chaux; le dosage et la fabrication des mortiers; les conditions requises pour les briques, moellons et pierres de taille; la marche à suivre dans l'exécution des maçonneries; le détail de l'appareil des ponts, droits ou biais; celui des siphons et écluses; en donnant tous les détails et éclaircissements qui se rattachent à ces objets importants.

Le chapitre sixième et dernier règle les conditions générales et particulières auxquelles doit être assujetti l'entrepreneur; le mode d'évaluation des ouvrages; les délais de garantie pour ceux de diverses natures; les charges d'entretien pendant ces délais; en un mot, toutes les clauses qui forment les dispositions essentielles et spéciales du contrat passé entre le propriétaire du canal et les adjudicataires des travaux qui s'y rapportent. Dans les

États d'Italie, comme en France, les conditions générales forment un cahier à part, qui ne se reproduit pas dans les devis, dont le dernier chapitre renferme seulement les conditions particulières applicables à telle ou telle entreprise. Quelle que soit l'importance d'un canal d'irrigation, à exécuter par des particuliers, il est utile que l'entrepreneur, ou que les soumissionnaires qui s'offrent pour l'exécuter, soient liés par les mêmes conditions que les adjudicataires de travaux publics.

L'avant-métré des travaux est une pièce très-importante, qui se divise naturellement en deux sections principales, dont l'une concerne les terrassements, l'autre les ouvrages d'art. Dans la première, on établit d'abord le cube des déblais et des remblais, qui sont calculés le plus ordinairement par la méthode des sections moyennes, c'est-à-dire en multipliant la demi-somme des surfaces de déblai et de remblai de deux profils consécutifs par la distance qui les sépare, ou, ce qui revient au même, en multipliant les surfaces de déblai et de remblai d'un même profil par la demi-somme de ses distances aux deux profils entre lesquels il se trouve. Lorsqu'un profil tout en déblai se trouve précédé ou suivi d'un autre profil tout en remblai, il est nécessaire alors d'établir, d'après la règle ordinaire, le point de passage, partageant l'intervalle des deux profils, proportionnellement à leurs surfaces.

Pour les canaux, comme pour les routes, on trouve, suivant telle ou telle disposition du terrain, des méthodes abréviatives de calculer les terrassements, quand on a à le faire sur une longueur considérable.

Dans tous les cas, comme il arrive presque toujours qu'il y a plusieurs natures différentes de déblais, on doit les faire ressortir séparément, dans des colonnes distinctes, afin de pouvoir appliquer à leurs totaux partiels les prix du sous-détail correspondant.

Une des parties les plus essentielles de la première section de l'avant-métré est le paragraphe qui a pour objet le mouvement des terres; c'est-à-dire l'emploi des déblais en remblai, avec dépôt de l'excédant, ou emprunt de ce qui manque.

Dans les modèles adoptés par l'administration des ponts et chaussées, ce paragraphe comprend un tableau en dix-neuf colonnes, répondant aux titres suivants : Numéros des profils; — cubes des déblais pour chaque profil; — foisonnement; — cube définitif des déblais; — cube des remblais pour chaque profil; — cubes à employer dans la longueur répondant à chaque profil; — excès des cubes de déblai sur les remblais, — 1° par profil, — 2° par série non interrompue de profils; — excès des cubes de remblai sur les déblais, — 1° par profil, — 2° par série non interrompue de profils;

— déblais en excès, à employer en remblais; — *id.*, à porter en dépôt, ou réservés pour un autre usage; — emprunts pour remblais; — indication des lieux d'emploi ou de dépôt des déblais en excès; — distance des transports; — transports à la brouette, — 1° cubes, — 2° produits des cubes par les distances; — transports au tombereau, — 1° cubes, — 2° produits des cubes par les distances.

Au moyen des dernières colonnes on obtient les distances réduites pour chaque mode de transport, soit pour toute la ligne du canal, s'il n'était pas d'une grande longueur, soit pour les diverses sections, dans lesquelles on juge ordinairement convenable de la diviser, pour l'établissement des prix de transport.

Le tableau mentionné ci-dessus indique, dans un cadre général, l'ensemble de toutes les circonstances dont il faut tenir compte, pour bien établir le mouvement des terres, dans un projet de terrassements considérables; mais son emploi n'est pas obligatoire, et l'administration supérieure approuve également les projets dans lesquels les ingénieurs se bornent à établir d'une manière exacte : 1° les cubes en déblai et en remblai; 2° les distances réduites des transports; 3° la manière d'employer les excédants de déblai, ou de se procurer les excédants de remblai.

J'ai une observation importante à faire sur

l'article foisonnement, qui figure dans les indications du tableau précité. Je pense qu'on doit ne l'envisager, dans la balance du mouvement des terres, que comme une chance éventuelle, et dont l'importance est toujours minime; plutôt que de l'appliquer en thèse générale. On ne doit pas perdre de vue que les natures de déblai qui donnent, immédiatement après la fouille, le plus grand foisonnement, sont celles aussi qui éprouvent le tassement ou le retrait le plus considérable. Et, comme il est toujours d'usage, qu'après les délais de garantie, dont diverses circonstances prolongent quelquefois la durée à plusieurs années, on exige des entrepreneurs que tous les remblais aient exactement leurs dimensions normales, il arrive fréquemment que si l'on a fait figurer le foisonnement des déblais pour une quantité notable, en déduction sur le cube des remblais, on se trouve en déficit de la même quantité, attendu que ce foisonnement, quelque réel qu'il ait pu être d'abord, se trouve intégralement absorbé pour combler les flaches et subvenir aux tassements éprouvés par les remblais. Plus ceux-ci sont considérables, plus cet effet est marqué.

Cette observation, dont j'ai eu plusieurs fois l'expérience, est très-essentielle à faire en matière de canaux, puisque les remblais y sont de véritables digues, dont les terres doivent être généralement battues et pilonées, de manière à occuper, au plus,

le même espace qu'elles tenaient dans leur gisement naturel.

La seconde section de l'avant-métré est consacrée aux ouvrages d'art. On peut grouper ensemble les cubes d'une même nature, qui sont susceptibles de recevoir l'application d'un même sous-détail. Mais il est bon néanmoins qu'on voie ressortir au détail estimatif les prix réels de chaque ouvrage d'art, même peu important.

L'analyse des prix est partagée en sections correspondantes à celles de l'avant-métré. La première comprend les terrassements et donne les sous-détails applicables aux diverses natures de déblais; le prix des fouilles, y compris le régalage et le dressement de ces différentes sortes de déblais; le jet à la pelle, là où ils peuvent être employés sur place; enfin le transport, soit à la brouette, soit au tombereau, de tous les déblais qui ne sont pas dans ce cas. La seconde section renferme les sous-détails plus nombreux qui s'appliquent à la construction des ouvrages d'art.

Les prix des transports sont ordinairement établis, au préalable, pour l'usage des travaux publics, par des tableaux déduits de formules qui ont été calculées de manière que les prix varient, aussi exactement que possible, en raison des distances réellement parcourues; mais aussi en ayant égard au temps du chargement et du déchargement, aux facilités ou aux difficultés des chemins, aux

pentes et rampes rapides. Enfin, en dehors de ces formules, on peut tenir compte des ressources plus ou moins grandes que présente, pour ce genre d'industrie, la localité où l'on opère.

Les formules indiquées pour cet usage, dans les cahiers-modèles de l'administration centrale des ponts et chaussées de France sont les suivantes:

$$(A)\ldots\ x = \frac{2pD}{1000} \qquad (B)\ldots\ x = \frac{P(2D + d)}{L \times C}$$

Dans la première, qui est relative au prix du transport des terres à la brouette, p représente le prix de la journée d'ouvrier, D la distance du transport. Dans la seconde, qui a le même objet pour les transports à la voiture, de différentes espèces de matières, P représente le prix de la journée et de la voiture, conducteur compris; D la distance du transport; d la distance répondant au temps employé pour le chargement et le déchargement; L le parcours journalier de la voiture quand elle marche sans interruption; C le cube du chargement.

On peut déterminer par le calcul quelles sont les limites d'application des deux modes de transport qui sont l'objet de ces deux formules; on peut fixer de la même manière les distances pour lesquelles il y aura avantage à employer des voitures, soit à un cheval, soit à deux ou à trois chevaux, etc.

Le détail estimatif, après l'observation de toutes

les formalités ci-dessus, n'est plus qu'une application des prix des sous-détails aux articles correspondants de l'avant-métré. Il fait connaître le montant total des dépenses, en mentionnant, dans des articles séparés : 1° la somme nécessaire à l'acquisition des terrains et au payement des indemnités de toute nature; 2° une somme à valoir, calculée approximativement, et destinée à faire face, 1° aux dépenses des ouvrages, tels que les épuisements et étanchements, qu'à défaut d'entrepreneurs on est obligé d'exécuter par voie de régie; 2° aux chances imprévues d'augmentation.

Le travail graphique, joint aux projets de canaux d'arrosage, doit être présenté avec soin. Sur la carte, ou sur le plan général, on doit indiquer par une teinte, ou au moins par un périmètre, l'étendue totale des terrains qui peuvent prendre part à l'irrigation, soit de suite, soit ultérieurement. Si le plan sur lequel est arrêté le tracé proprement dit, n'a pu être levé comme plan topographique, sur lequel le relief du terrain est exactement représenté par des tranches horizontales, on doit, au moins, y indiquer les principaux de ces mouvements par des teintes d'ombre au bistre ou à la sépia. Enfin, les plans parcellaires, ayant pour objet de faire connaître exactement la situation et la superficie des héritages et portions de terrain à occuper, ou à endommager, par les travaux projetés, doit lui-même être dressé avec tous les détails néces-

saires, pour présenter à l'œil la situation exacte de ces propriétés, quant à leur nature et à leur mode de culture.

Dans les gouvernements d'Italie on attache avec raison de l'importance à ces détails, qui ont pour objet de donner, par les plans, une connaissance très-complète des localités intéressées aux projets de travaux publics. Le soin à y mettre est même prescrit comme une des conditions essentielles de la bonne direction de ces travaux. En Lombardie on observe exactement les dispositions d'une circulaire de l'administration française, sous le gouvernement du prince Eugène; elle date du 30 mars 1808, et prescrit l'adoption de modèles uniformes, qu'elle détermine, pour la désignation de toutes les natures de terrains, divisés en seize classes, comme il suit : 1° terres incultes ; — 2° champs; — 3° champs avec plantations ; — 4° champs avec clôtures ;— 5° près, arrosés, ou non arrosés ; — 6° pâturages; — 7° pâturages marécageux; — 8° marais ou étangs ; — 9° friches ou broussailles; — 10° collines avec vergers ; — 11° pâturages en montagnes ; — 12° montagnes nues; — 13° rizières, à rotation, ou perpétuelles; — 14° bois, taillis, ou futaie;— 15° jardins, maraîchers, ou d'agrément; — 16° terrains bâtis.

Quant aux échelles à adopter, pour ces divers plans et nivellements, faisant partie des projets de canaux, leur choix est important, et elles varient

généralement avec l'étendue de ces plans et nivellements. En France, ainsi que dans les divers gouvernements d'Italie, des circulaires de l'administration supérieure ont statué sur cet objet. Les échelles prescrites pour les projets à exécuter par l'État, sont aussi celles qu'il est convenable d'adopter pour les canaux qui se font aux frais des compagnies ou des particuliers.

CHAPITRE VINGT-TROISIÈME.

EXÉCUTION DES TERRASSEMENTS. — ENTRETIEN ET CURAGES.

§ 1. *Considérations sur les divers modes d'exécution des travaux.*

Le mode le plus avantageux, pour l'exécution de tous les travaux en général, surtout lorsqu'ils sont considérables, est l'adjudication, avec publicité et concurrence. Il y a cependant des cas où l'on est forcé de recourir à l'exécution par voie de régie, ou d'économie. Cela a lieu d'abord pour toutes les natures d'ouvrage qui ne sont pas susceptibles d'être mises à l'entreprise; tels sont les épuisements, les étanchements, et en général les travaux à exécuter, soit souterrainement, soit dans l'eau, avec des chances plus ou moins incertaines, qui ne peuvent permettre d'avoir, avec exactitude, des évaluations préalables. Quand, pour des travaux placés dans des conditions d'urgence, on n'a pu trouver d'entrepreneur; quand, enfin, ceux qu'on avait cru offrir les garanties nécessaires, sont reconnus plus tard ne pas avoir les conditions voulues, sous le rapport de la capacité, ou de la solvabilité, il y a encore lieu à la mise en régie; seulement, dans

ce dernier cas, elle a lieu, ordinairement, aux frais, risques et périls de l'entrepreneur, à qui elle est imposée comme une mesure pénale, en cas d'infraction des clauses principales de son marché.

Les travaux d'un canal d'arrosage comportent ces deux modes d'exécution. Tout ce qui est terrassements et ouvrages d'art ordinaires, doit, préférablement à aucun autre moyen, être donné à l'entreprise. Quant aux épuisements, aux fondations à exécuter sous l'eau, aux travaux d'étanchement, et en général à ceux dont la bonne qualité et la durée ne pourraient guère se concilier avec la célérité de la main-d'œuvre, on doit toujours en prescrire l'exécution par voie de régie. D'ailleurs, quand un ingénieur est secondé par des conducteurs zélés et capables, les ateliers qu'il emploie directement sont mieux surveillés que ceux que dirige l'entrepreneur.

Les adjudicataires à gros cautionnement ne sont, la plupart du temps, que des spéculateurs, pour qui une soumission est un acte purement aléatoire. Leur seul titre est d'avoir des fonds ou du crédit, et ils veulent, avec cela, gagner le plus possible; peu importe comment. De sorte qu'à leurs yeux, une entreprise de travaux publics ne diffère pas beaucoup d'une opération de bourse. Quant aux travaux eux-mêmes, ils n'y entendent absolument rien; aussi sont-ils servis en conséquence, par les sous-traitants et par les travailleurs. C'est avec cette

classe d'entrepreneurs que l'on a le plus de risques à courir. Avec eux on doit ordinairement s'attendre aux conséquences onéreuses des résiliations ou annulations de marchés, des mises en régie, des procès, et autres inconvénients pareils, qui font toujours le plus grand tort aux travaux.

Je suis loin de prétendre qu'il faille craindre d'avoir des entrepreneurs riches; on doit au contraire les désirer et les rechercher. J'ai seulement en vue d'appeler l'attention des ingénieurs et celle des administrateurs sur l'importante distinction qu'on doit faire d'un entrepreneur véritable, ayant à la fois des capitaux et des connaissances pratiques, d'avec un homme qui n'a pour but que de tenter une spéculation quelconque. C'est surtout en matière de grands travaux qu'on voit journellement l'application de cette sage maxime : que pour savoir bien commander, il faut d'abord savoir bien faire.

Ceci me conduit à parler d'une classe d'hommes fort intéressante, pour l'exécution des travaux du genre de ceux dont il s'agit ici ; c'est celle des petits entrepreneurs, ou des simples tâcherons, menant avec eux des ateliers, à la tête desquels ils travaillent, et auxquels on peut avantageusement marchander à forfait des ouvrages considérables, surtout en matière de terrassements.

Les travaux d'un canal d'arrosage, s'il est un peu important, s'il a par exemple une largeur de 7 à 8 mètres, et qu'il puisse, dès lors, servir à

une petite navigation, sont du nombre de ceux qui, pour être bien exécutés, demandent à l'être avec promptitude, ou du moins sans lenteurs; ce qui exige la concentration d'un grand nombre d'ouvriers sur les mêmes points. Les ressources locales n'étant ordinairement pas suffisantes, on est obligé de faire appel aux ouvriers du dehors, et l'on s'adresse de préférence dans les pays populeux et pauvres, tels que la Savoie, la Lorraine allemande, etc. On y trouve, il est vrai, la main-d'œuvre à bon marché, mais on ne ramène souvent de là que des hommes sans vigueur, qui, s'ils se contentent d'un faible salaire, font aussi très-peu de bon ouvrage. Il y a un autre système, dont j'ai toujours reconnu la supériorité; c'est celui qui consiste à employer des hommes gagnant beaucoup, mais travaillant de même.

Il n'est pas un ingénieur qui ne doive être d'accord avec moi sur ce point. Il en est même qui pourraient dire que dans certains résultats satisfaisants, obtenus par différentes causes, celle-là a toujours été la principale.

Depuis un temps presque immémorial, les provinces piémontaises d'Ivrée, Bielle, Varallo et autres, mais surtout le haut pays, voisin des lacs, et comprenant les cantons d'Arona et Bellizona, sont en possession d'envoyer, chaque année, à l'étranger un nombre considérable d'hommes actifs et industrieux, qui représentent précisement cette classe

de petits entrepreneurs dont l'intervention a ordinairement les meilleurs résultats. Beaucoup d'entre eux, à la vérité, sont peintres, vitriers, fumistes, décorateurs; mais leur spécialité la plus remarquable est sans contredit celle des terrassiers; aussi sont-ils recherchés comme tels, à de très-grandes distances; et ils le seront toujours, partout où l'on aura pu les apprécier.

Dans ces régions salubres le paysan jouit, depuis un grand nombre de générations, d'une nourriture substantielle; comme cela a lieu dans tous les pays d'arrosage, où le bétail abonde. C'est sans doute pour cela que le terrassier piémontais est infatigable et exempt des maladies qui atteignent trop souvent les classes ouvrières. J'en ai vu qui, sans être même incommodés, pouvaient rester pendant douze heures, la tête nue, dans des tranchées profondes, où la réverbération du soleil d'Italie eût été intolérable pour des hommes d'une autre trempe. Ce qu'il y a surtout à remarquer, c'est qu'ils exécutent vite et bien tout ce qu'ils font. A les voir dresser un talus ou débiter un rocher, soit au pic, soit à la poudre, on se demande si ce ne sont pas là plutôt des artistes que des ouvriers. Car ils ont le secret de concilier une célérité extraordinaire dans le travail dont ils se chargent, avec sa parfaite exécution; et c'est là le secret de leurs grands bénéfices. Ils n'accepteraient pas d'être employés à la journée, car il est hors de leurs habi-

tudes de travailler mollement; et parmi les salaires usuels, même les plus élevés, il n'en est pas qui pourraient rémunérer leur travail.

Les plus habiles de ces ouvriers, ceux qui ont déjà, par devers eux, d'assez grandes avances, se font, comme je l'ai dit, tâcherons, ou entrepreneurs. Ils ont avec eux des ateliers de choix, avec lesquels, depuis 25 ou 30 hommes, jusqu'à 100 ou 150, ils se transportent partout où on les demande, et entreprennent, à forfait, des travaux de telle importance qu'on le désire. S'il faut plus d'ouvriers qu'ils n'en ont à leur disposition, ils s'en procurent. Ils savent à quels pays l'on peut s'adresser en cas de presse. Ils connaissent certaines foires d'Allemagne dans lesquelles les directeurs de travaux peuvent aller, en remonte de leurs ateliers, comme les officiers de l'armée y vont pour la cavalerie. En un mot ils ont essentiellement les qualités de leur emploi.

Cette classe d'hommes très-utiles nous manque tout à fait en France, et l'on devrait chercher à l'y encourager.

§ II. *Exécution des terrassements.*

Lorsqu'on a réglé, soit à l'amiable, soit par les voies légales, l'importante affaire de l'acquisition des terrains, à occuper par le canal, on procède immédiatement à son exécution. Je passerai rapide-

ment sur ce qui concerne les terrassements, afin d'arriver de suite aux travaux d'art, qui donnent lieu à des considérations plus importantes.

Tranchées. — Les tranchées proprement dites sont assez rares sur les canaux d'irrigation, et si elles s'y rencontrent ce n'est généralement que vers leur origine et dans le voisinage des prises d'eau, là où ils ne jouent encore que le rôle de canal d'amenée.

La présence des eaux de source, que l'on rencontre très-fréquemment dans l'ouverture des tranchées, lorsque surtout elles sont profondes, peut être avantageuse comme tendant à augmenter la portée d'eau du canal; et lorsqu'elles sont assez abondantes on ne manque jamais de les recueillir soigneusement; mais quelquefois l'eau ne se manifeste qu'à l'état de suintements et de filtrations, qui détruisent la solidité des talus et obligent de leur donner plus de base qu'on ne l'aurait fait sans cette circonstance. Car c'est surtout sur les terrains de cette espèce que les gelées et les intempéries de l'air ont une action funeste, en y causant beaucoup de dégradations, qu'on doit toujours chercher à éviter, le plus possible, le long des canaux.

Quels que soient les secours que puissent fournir les connaissances géologiques, et même des puits d'épreuve, on ne sait jamais complétement, à l'avance, quelle sera la nature du terrain, et surtout quels accidents il pourra présenter sur toute la lon-

gueur d'une tranchée, si elle doit être considérable. Il est donc sage de n'arrêter définitivement l'inclinaison des talus et même la forme du profil transversal qui y correspond, qu'après que les déblais ont été ébauchés sur une profondeur suffisante, pour que l'on sache exactement à quoi s'en tenir, sur la nature du sol et sur les pentes avec lesquelles on obtiendra la stabilité convenable dans les surfaces déblayées.

Les perrés et murs de soutènement auxquels on a recours quelquefois pour fixer des talus, sujets aux glissements et aux éboulements, sont un moyen coûteux, qui ne réussit pas toujours. Je crois que, dans tous les cas, on devrait restreindre leur emploi aux parties inférieures, et adopter, pour les parties supérieures des talus, l'usage beaucoup plus économique, et souvent bien préférable, des clayonnages et des plantations. Ces dernières surtout, lorsqu'elles sont faites en essences convenables, c'est-à-dire principalement avec celles qui ont des racines traçantes, comme l'acacia, le saule osier, la vigne, etc., sont presque toujours le meilleur de tous les procédés pour fixer les terres des tranchées, quelque rapides que soient leurs talus. Au bout de cinq ou six années ces plantations, au lieu d'exiger des frais d'entretien et de grosses réparations, comme feraient des ouvrages d'art, donnent elles-mêmes un certain produit; elles sont donc doublement à préférer.

Les tranchées étant toujours coûteuses et souvent difficiles à exécuter, c'est ordinairement dans leur emplacement que l'on prend le parti de réduire à son minimum la section du canal, moyennant une augmentation convenable de la pente; si toutefois cela peut se faire sans inconvénient d'après la résistance du terrain. Par la même raison d'économie, si le canal doit servir en même temps à l'arrosage et à la navigation, on réduit sa section, dans les tranchées, au passage d'un seul bateau, avec une banquette unique de halage, au lieu de deux, qu'il est avantageux d'avoir dans tous les autres cas.

Je ne répéterai pas ce que j'ai dit, au chapitre précédent, en parlant de la détermination du profil transversal des canaux, sur la forme la plus convenable des tranchées, qui doivent présenter, suivant leur profondeur, un ou plusieurs rangs de banquettes, ainsi que le représentent les fig. 13 et 15 de la planche XI.

Grands remblais. — Les grands remblais sont plus fréquents sur les canaux d'arrosage que les tranchées; j'en ai dit précédemment les motifs. Si ces deux genres d'ouvrages se trouvaient à exécuter dans le voisinage l'un de l'autre, ce serait un avantage très-grand pour l'économie du mouvement des terres; mais cela n'a lieu que très-rarement; et dans le cas général, d'après les limites de la distance des transports, on est obligé de former des

dépôts, ou cavaliers, avec l'excédant de déblais, fourni par les tranchées, tandis que, pour la confection des remblais importants, il faut presque toujours recourir à des emprunts.

L'exécution des grands remblais exige plusieurs précautions. On doit d'abord faire beaucoup d'attention à la qualité des terres qui doivent y être employées. Car si toutes sont à peu près également bonnes pour former la base de ces remblais, il n'en est pas de même pour celles qui doivent servir à la partie supérieure, là où doit être située la cuvette du canal. Pour ne pas être obligé de recourir à des moyens spéciaux d'étanchement, toujours très-coûteux, on doit tâcher de trouver, à peu de distance, des terres fortes ou argileuses qui, étant suffisamment battues, sont de nature à retenir l'eau.

Un autre soin qu'on doit avoir dans la confection des grands remblais, c'est de les exécuter expéditivement, afin de ne pas y revenir à plusieurs reprises; ce qui aurait l'inconvénient de rendre le tassement inégal et moins complet. Avant de commencer les travaux, on doit donc toujours être en mesure de concentrer une quantité de main-d'œuvre considérable sur les points où ils doivent s'exécuter.

Un exemple remarquable de remblais de cette espèce, sur les canaux d'arrosage, est celui que présente le canal Marocco (branche de Vilanterio), sur la commune de ce nom, dans la province de

Milan. Ce remblai, de 4 à 7 mètres de hauteur au-dessus du niveau de la plaine, règne sur près de 9 kilomètres ou plus de 2 lieues de longueur; il présente l'une et l'autre des formes indiquées par les profils, fig. 13 et 14 de la pl. XI. Cet embranchement du canal Marocco a 4 mètres de largeur au niveau de l'eau, 0^{m},90 de profondeur, plus environ 0^{m},40 de hauteur de berge.

Les talus, dont le couronnement forme deux banquettes de 1^{m},60 à 2^{m} de largeur, sont revêtus extérieurement de gazon, et, à la partie inférieure, il y règne, de chaque côté, une plantation d'aunes, dont le jeune bois est utile pour la fabrication des fascines, qui sont très en usage en Italie, dans la plupart des ouvrages hydrauliques.

Ce travail fut exécuté, il y a une vingtaine d'années, avec une célérité remarquable, par M. l'ingénieur A. Calvi, de Milan. Les travaux du canal dont il s'agit, qui est une des plus importantes dérivations particulières du Milanais, étaient restés en souffrance, par suite de ce qu'une première compagnie l'avait mal administré; et lorsque M. l'avocat Marocco en devint seul propriétaire, il y avait urgence d'en hâter l'achèvement, attendu que la concession allait être périmée; et, ce qui n'était pas moins grave, des engagements de livrer l'eau à jour fixe ayant été souscrits, envers beaucoup de propriétaires, il s'agissait de payer des dommages-intérêts considérables; cependant l'étude

et la rédaction du projet de la branche de Vilanterio n'étaient pas même commencées.

L'habile ingénieur auquel le nouveau propriétaire fit part de cette situation difficile, se transporta immédiatement sur les lieux avec du papier et des instruments, et au bout de quatre mois il revint, ayant accompli sa mission; c'est-à-dire après que l'eau, introduite dans le canal, était mise à la disposition des usagers, sans que l'on ait eu à solliciter du gouvernement aucune prorogation de délai, et sans que le propriétaire du canal ait été passible de dommages et intérêts.

Ce n'était point là une tâche ordinaire, car il s'agissait de transformer, en si peu de temps, deux lieues de terrain naturel en deux lieues de canal, d'un profil exceptionnel; quand aucune des opérations ou formalités préalables n'avait encore eu lieu. Cependant cela se fit ainsi; et dans ce court délai de cent à cent vingt jours, rédaction du projet, tracés sur le papier et sur le terrain, acquisitions à l'amiable et expropriations légales, exécution de 400,000 mètre cubes de remblais, avec sujétions, confection et emploi de plus d'un million de briques pour l'établissement de sept grands siphons, compliqués d'ouvrages accessoires, comme on le voit par les dessins fig. 1 et 4 de la planche XXIV, tout fut amené à bien.

Voilà pourquoi cette portion de canal, que l'on remarquerait peu si elle eût été exécutée dans des

circonstances ordinaires, mérite un intérêt tout particulier. Pour atteindre ce résultat, il a fallu 2000 ouvriers, travaillant sans désemparer, à peu près jour et nuit; il a fallu surtout le talent d'un homme très-remarquable, auquel de pareils tours de force sont familiers (1).

En visitant, l'année dernière, ce beau travail, accompagné de son trop modeste auteur, je m'étonnais de ne voir que peu ou point de chambres d'emprunt, aux abords de cet immense remblai, qui semblait avoir été posé là par une fée. M. Calvi m'expliqua alors, comme la chose du monde la plus naturelle, qu'ici il avait eu recours à un moyen particulier, et qu'il s'était entendu avec les propriétairs riverains, de manière à combiner la confection du remblai de Vilanterio avec l'abaissement des parties trop élevées des terrains, qui devaient profiter de l'arrosage.

De cette manière les mares d'eau, sans usage et sans valeur, qui envahissent inévitablement les chambres d'emprunt, dans les pays de plaines, se sont trouvées remplacées par une superficie au moins égale de terrains arrosés, devenus dès lors de première qualité, de médiocres qu'ils étaient. Heureuse combinaison, qui conciliait tout à la fois

(1) M. l'ingénieur Calvi, qui est encore dans toute la force de l'âge, jouit en Italie d'une haute réputation, parfaitement méritée. Il vient, tout récemment, d'être appelé dans les États romains, pour un travail d'une grande importance.

les intérêts généraux de l'agriculture, ceux des propriétaires riverains, et ceux du fondateur du canal. On ne saurait donc suivre une meilleure marche que de chercher à la réaliser de même, en pareille circonstance.

§ III. *Entretien et curages.*

L'entretien d'un canal d'irrigation consiste dans les réparations ordinaires des digues et des ouvrages d'art; mais surtout dans les curages qu'il est indispensable d'y opérer fréquemment. On doit concevoir l'importance de cette opération, puisque des dépôts ou atterrissements ne peuvent exister dans une dérivation de cette espèce sans que ce soit aux dépens de sa section, qui n'a ordinairement que la capacité nécessaire pour débiter le volume d'eau dont l'emploi est assuré. Dès lors, si on les laissait s'accumuler d'une manière trop notable, il faudrait qu'on renonçât à introduire dans le canal toute l'eau qui devait y trouver place, ou qu'on la laissât franchir ses bords, ce qui n'est pas admissible.

Les atterrissements et dépôts auxquels sont exposés les canaux, sont d'autant plus préjudiciables, qu'étant formés ordinairement de terres meubles et de bonne nature, ils y favorisent encore la croissance des herbes et des plantes aquatiques, déjà si nuisibles par elles-mêmes.

Il est donc d'une nécessité urgente de pourvoir,

toutes les fois que la nécessité s'en fait sentir, à l'enlèvement des herbages, et dépôts de toute nature qui peuvent exister dans le lit des canaux. La première de ces deux opérations est le faucardement; la seconde est le curage proprement dit.

Dans la Lombardie, ou du moins dans le Milanais, malgré la limpidité des eaux, ces deux opérations s'exécutent simultanément, deux fois chaque année; savoir, en avril et en septembre, par la mise à sec des canaux; ce qui occasionne des chômages, sur lesquels j'aurai lieu de revenir plus tard, comme mesure administrative; car je ne parle ici des curages que sous le rapport des travaux à exécuter.

Quoique le printemps et l'automne soient les deux saisons où l'on puisse, avec le moins d'inconvénients, interrompre pendant douze ou quinze jours les irrigations, il est certain qu'il vaudrait encore mieux que cette interruption n'eût pas lieu; car si l'on avait de l'eau continuellement on trouverait à l'utiliser de même. On avait donc cherché à opérer les curages et faucardements sans mettre les canaux en chômage. Pour cela on se contentait de crocheter les herbes, ou de les couper incomplétement sous l'eau; et quant aux dépôts de vase existant dans le lit de ces canaux, on les enlevait, comme cela se fait journellement dans les rivières, au moyen de rabots, dragues à hotte, ou à cuiller; enfin, par les divers procédés convenables à cet objet.

Mais on a remarqué qu'il n'y avait à cela que peu d'avantages et beaucoup d'inconvénients; les dépôts étaient incomplétement enlevés, et les terres mises en suspension dans l'eau agitée, allaient se déposer un peu plus loin, les herbes mal coupées repoussaient avec plus de force. On reconnut enfin par expérience que, dans le même temps, on faisait à peu près trois fois autant d'ouvrage, le canal étant à sec, que lorsqu'on y laissait l'eau. On a donc, depuis très-longtemps abandonné, dans le nord de l'Italie, le système de curages sans mise à sec, et l'on s'en est tenu, partout, au moyen économique et facile qui consiste à opérer cette mise à sec des canaux, ou portions de canaux, soumis au chômage, au moyen d'un batardeau, formé de simples chevalets, que l'on garnit d'abord de fascines, puis d'une grosse toile. Et ce procédé, tout simple qu'il est, suffit pour étancher une masse d'eau ayant jusqu'à $1^m,50$ ou $1^m,60$ de hauteur, et pour l'empêcher complétement de s'introduire dans le canal.

La disposition de cet appareil, représenté de face et de profil, dans les figures 1 et 2 de la planche XXVI, est tellement facile à saisir, qu'on pourrait se dispenser d'aucune explication. Je n'en dirai donc que quelques mots.

Les chevalets sont formés d'une charpente légère en bois de chêne; ils sont reliés et maintenus dans la position convenable, au moyen du système de liens pendants, et de moises horizontales que re-

présentent complétement les dessins précités. Ces chevalets, occupant la largeur totale du canal à barrer, sont garnis du côté d'amont, suivant les circonstances, de simples fascines (*fascine*), ou de fascinons (*fascinoni*), qui sont les uns et les autres extrêmement usités, dans le nord de l'Italie, pour la défense des terrains, contre l'action des fleuves et torrents. Les fascines sont de petits faisceaux de $0^m,15$ de diamètre, formés par des baguettes d'aune vert, de l'âge de six à sept ans; leur longueur varie, suivant la hauteur d'eau à soutenir, depuis $1^m,50$ jusqu'à $2^m,35$. Ces faisceaux sont fortement serrés avec des liens d'osier flexible, qui sont au nombre de cinq, depuis $1^m,50$ de longueur jusqu'à $1^m,85$ inclusivement, et au nombre de six depuis 2^m jusqu'à $2^m,35$. Les fascinons sont des faisceaux de même diamètre, dont la longueur est moindre et varie depuis $0^m,40$ jusqu'à $1^m,50$. Ils sont formés de baguettes de chêne, ou d'autre bois dur, de l'âge de quatre ans au plus. Ce qui les distingue des simples fascines, c'est que l'intérieur est rempli de graviers ou de cailloux, donnant au fascinon une masse suffisante pour le faire aller au fond de l'eau, où il peut servir de fondation à divers ouvrages, notamment à des revêtements de berges. Dans le cas actuel, lorsque l'eau à barrer a beaucoup de hauteur et une certaine vitesse, on emploie ces fascinons à la partie inférieure du revêtement du batardeau, ou en forme d'enroche-

ment, au lieu et place des galets, qui sont représentés fig. 1, dans le cas où l'on aurait de la peine à s'en procurer.

Pour donner plus de stabilité à tout ce système, on a soin d'établir, à la partie moyenne, qui est hors de l'eau, une tablette ou planche, régnant sur toute sa largeur, et que l'on charge de sable ou de terre, et mieux encore, si on le peut, de pierres ou cailloux, comme le représente la figure 1. La toile que l'on emploie comme dernier revêtement, par-dessus la garniture en fascines, est la plus serrée et la plus solide que l'on puisse se procurer; comme elle peut servir à cet usage pendant fort longtemps, il est utile à sa durée qu'elle soit goudronnée, et alors l'étanchement est parfait. Ce moyen simple et ingénieux remonte, en Italie, à une très-grande ancienneté. Je crois même qu'on en peut suivre l'usage jusqu'au delà du XVe siècle. Il se pratique, très-anciennement aussi, quelque chose d'analogue sur nos canaux de Provence; mais ce n'est pas tout à fait le même système, et l'on n'en retire pas le même avantage.

Les frais de ce batardeau, en usage sur les canaux du nord de l'Italie, et dont la construction ne se modifie plus, sont proportionnés à la poussée de l'eau qu'il faut retenir. Ils varient donc comme la largeur du canal à barrer, et à peu près comme le carré de la hauteur de l'eau. On en établit sur les

canaux du Milanais, qui coûtent depuis 300 francs jusqu'à 3000 francs.

Aux embouchures des canaux modernes on construit généralement soit des martellières, soit un système de portes busquées, qui sont le moyen le plus expéditif d'opérer les mises à sec, réclamées par le curage et le faucardement. Mais sur les anciennes dérivations, pour lesquelles cette précaution n'a pas été prise, ou même sur les nouvelles, lorsqu'on veut opérer la mise à sec partiellement, on ne peut mieux faire que de recourir à l'emploi du batardeau qui vient d'être décrit; car il a le grand avantage de pouvoir être établi très-expéditivement, ce qui est essentiel, vu l'importance qu'il y a de réduire au minimum la durée des chômages.

J'ai dit tout à l'heure que les moyens mécaniques pour opérer le curage sans recourir à la mise à sec des canaux, n'étaient point employés en Italie, parce qu'on en avait reconnu les inconvénients. Il existe cependant quelques localités pour lesquelles il y a exception à cette règle. J'en cite ici un exemple remarquable, en faisant connaître ce qui se pratique, depuis une époque extrêmement ancienne, dans l'intérieur même de la capitale de la Lombardie.

Le canal de la Martesana reçoit une très-grande quantité de graviers et de matières terreuses, qui y sont introduites par la communication directe qu'on a malheureusement opérée entre ses eaux et celles

de deux rivières torrentielles, le Lambro et le Seveso. Depuis la jonction, opérée par Léonard de Vinci, entre les eaux de ce canal et celles du Naviglio-Interno, au moyen de cinq écluses construites en 1490, dans le même emplacement qu'elles occupent encore aujourd'hui, ces dépôts sont en grande partie entraînés dans le canal intérieur, et séjournent dans ses différents biefs, au grand préjudice de la régularité des arrosages et de la navigation elle-même. Mais ce n'est pas là le seul inconvénient. Toutes les immondices de la ville aboutissent aussi dans le même récipient. Les hôpitaux, les boucheries, les latrines, les ateliers de toutes espèces y versent leurs produits. On conçoit dès lors à quel degré d'infection doit être la vase qui a croupi longtemps dans un pareil réservoir.

Autrefois, quand on était obligé d'employer le moyen ordinaire du détournement des eaux, on n'avait rien imaginé de mieux pour obvier aux immenses inconvénients que présentait ce curage ainsi effectué au milieu d'une ville populeuse, que d'en éloigner le plus possible le retour, en ne l'entreprenant qu'à la dernière nécessité. C'est d'après cela que, vers 1680, on avait établi pour règle qu'il ne se ferait plus que tous les neuf ans.

Mais qu'arrivait-il de là? Que le chômage était beaucoup plus long, et l'opération elle-même infiniment plus dispendieuse, de sorte que les usagers et surtout les riverains en souffraient bien davan-

tage. Pendant cette odieuse opération, le maniement des matières fétides, leur dépôt obligé sur les bords du canal, et leur transport dans les rues de la ville, produisaient des exhalaisons tellement pestilentielles que des fièvres endémiques envahissaient régulièrement tous les quartiers circonvoisins, et que ceux des habitants qui voulaient se soustraire à cette funeste influence, n'avaient d'autre parti à prendre que de déserter leurs demeures. En outre c'était aux frais des riverains que s'exécutait ce malencontreux travail. On rendit donc un éminent service à la population milanaise en le supprimant, pour lui substituer un procédé tout différent, qui remplit bien mieux son but, sans causer de préjudice à personne.

Ce fut en 1763 que le comte Litta (1), devenu, après de longues et consciencieuses études, un très-habile hydraulicien, à l'école des Lecchi et des Guglielmini, proposa, pour la première fois, d'expulser ces matières nuisibles des biefs du Naviglio-Interno, au moyen de chasses successives, opérées soit au moyen des buses et ventelles des écluses de navigation, soit au moyen d'un système de barrages à poutrelles, plus efficace encore. L'essai de cette méthode, aussi simple qu'ingénieuse, fut couronné d'un plein succès, et les curages très-importants du Naviglio-Interno n'ont pas cessé depuis

(1) La famille de ce nom est propriétaire d'un beau canal d'irrigation dans le Milanais.

d'être exécutés de cette manière, au grand avantage des usagers et des établissements, qui n'éprouvent plus d'interruption dans l'emploi des eaux; mais au grand avantage surtout de la santé publique.

L'emploi des chasses est surtout utile aux embouchures des canaux dans les rivières, où il se forme fréquemment des atterrissements très-considérables, sur lesquels les moyens ordinaires de dragage n'auraient pas une action suffisante. Ces chasses, procurées au moyen d'un barrage à poutrelles, ont été et sont encore employées avec succès sur plusieurs canaux de France, notamment sur celui de Beaucaire.

En résumé, le curage des canaux d'arrosage est une opération coûteuse et importante, surtout par la raison qu'elle se renouvelle très-fréquemment. Dans les localités où quelques circonstances particulières permettent d'employer convenablement la drague, ou mieux encore les chasses d'eau, on ne doit pas hésiter de recourir à ces moyens; mais comme ils ne sont que rarement praticables avec avantage, on préfère généralement la mise à sec, qui est le procédé le plus sûr.

Pour les canaux nouveaux, le meilleur moyen d'atténuer les dépenses importantes du curage, c'est d'établir ces canaux d'une manière parfaitement conforme aux principes, et aux règles de l'art, d'en bien proportionner les pentes et les sections à la nature des

eaux et aux résistances variables du terrain, d'éviter les changements brusques de pentes et de vitesses, ainsi que les coudes et les tournants trop courts; de n'admettre, pour les berges et talus, que des inclinaisons assez douces pour que l'on n'ait point à craindre les éboulements ou les dégradations successives, qui sont le principal aliment des dépôts nécessitant le curage; enfin, d'éviter absolument l'introduction, toujours funeste, des eaux torrentielles dans le lit de ces canaux.

C'est à toutes ces précautions observées, en un mot, c'est à un canal bien conçu et bien exécuté que l'on sera redevable du grand avantage de voir réduits à leur minimum les frais de curage, qui sont une des plus lourdes charges de l'irrigation.

CHAPITRE VINGT-QUATRIÈME.

DÉTAIL ET EXÉCUTION DES OUVRAGES D'ART.

Les ouvrages d'art relatifs aux canaux d'irrigation peuvent être divisés en douze classes, ainsi qu'il suit : 1° fondations en général ; — 2° étanchements ; — 3° murs de soutènement et canaux en maçonnerie ; — 4° radiers et revêtements de berges ; — 5° vannes, clapets et déversoirs ; — 6° prises d'eau ; — 7° barrages ; — 8° modules ; — 9° partiteurs ; — 10° ponts ; — 11° aqueducs, ponts-aqueducs, siphons ; — 12° écluses.

Je ne donnerai, sur chacune de ces diverses espèces d'ouvrages, que des détails succincts, attendu que les documents les plus essentiels à cet égard se trouvent dans les planches de mon atlas, qui sont toutes des planches d'exécution, en ce sens que les dessins qu'elles présentent sont pris sur les meilleurs ouvrages d'art des canaux, domaniaux ou particuliers, existant dans la Lombardie et le Piémont. Ils ont, de plus, été choisis de manière à donner l'exemple des cas particuliers qui se présentent, dans les pays de grandes irrigations, par suite du croisement, sur un même point, ou sur des points voisins, de plusieurs dérivations existant à des niveaux différents.

Fondations. — Tous les systèmes de fondation d'ouvrages hydrauliques conviennent aux canaux d'arrosage, pourvu qu'ils soient bien appropriés aux localités où on les emploie, tant sous le rapport de la solidité et de la durée des ouvrages, que sous celui de l'économie, qui est aussi un point fort important. La préférence à donner à tel ou tel mode doit donc dépendre de plusieurs circonstances. Autrefois les bois de construction étaient très-abondants et dès lors à bas prix; la connaissance des précieuses ressources offertes par les bétons et mortiers hydrauliques était au contraire peu avancée. C'est ce qui explique pourquoi les anciens constructeurs avaient une grande prédilection pour les fondations sur pilotis. Sans doute ce moyen est très-bon, puisqu'il permet de bâtir solidement sur les plus mauvais fonds. Mais aujourd'hui, par la rareté des bois, qui tend à devenir générale, on est obligé d'en restreindre beaucoup l'emploi, souvent même d'y renoncer tout à fait. Si, par exemple, la ville de Venise, au lieu d'avoir été fondée dans ce système, il y a huit ou neuf siècles, n'avait dû l'être que de nos jours, il est probable que l'eau des lagunes n'aurait jamais baigné le pied de ses palais.

En jetant les yeux sur l'ensemble des ouvrages d'art représentés dans l'atlas ci-joint, notamment sur ceux qui font le sujet des planches XIII, XIV, XV, XX, XXIII, XXIV et XXV, on voit que le système des pilotis y domine presque exclusivement. Il est vrai

que parmi ces ouvrages il en est quelques-uns qui datent d'une époque ancienne, mais la plupart d'entre eux sont très-modernes, puisque leur construction ne remonte qu'à dix, quinze ou vingt ans.

Cependant, aujourd'hui, dans la Lombardie, comme dans la plupart des pays d'une situation analogue, les bois sont devenus fort rares, et un pilot de chêne, mis en place, qui, il y a seulement cinquante ans, ne serait revenu, en ancienne monnaie, qu'à un prix équivalant au plus à 3 fr. 50 c., ou 4 fr., y coûte aujourd'hui trois ou quatre fois autant.

Il faut bien admettre qu'il y a un avantage réel dans l'emploi de ce mode de fondations, puisque la plupart des ouvrages précités ont été construits sur les projets d'ingénieurs habiles et expérimentés. Néanmoins j'ai peine à croire que les belles dalles granitiques que l'on exploite aujourd'hui à très-bas prix, et qui sont un objet de commerce important pour le Milanais, ne rempliraient pas le même but, d'une manière plus économique, surtout en considérant que ces fondations ont lieu, presque sans exception, sur un terrain de gravier naturellement incompressible. On pourrait objecter peut-être que les terrains de cette nature ont besoin d'un encaissement, afin d'être préservés des dégradations que l'eau pourrait y occasionner latéralement; mais dans tous les cas il résulterait de là que

l'emploi des bois, en fondations, devrait être restreint à des enceintes jointives de pieux et palplanches, qui sont infiniment plus économiques qu'un pilotis complet. Des ponts et autres ouvrages hydrauliques, que j'ai eu l'occasion de fonder dans ce dernier système, soit à nu sur le gravier et la glaise, soit sur ces mêmes terrains, avec addition d'une plate-forme de béton, ont parfaitement réussi et jouissent d'une stabilité parfaite. Il est à présumer qu'à mesure qu'on s'éclairera davantage sur les systèmes modernes de fondations sans épuisements, on restreindra de plus en plus l'emploi dispendieux des pilotis. Par suite de l'adoption des anciens modes de fondation, et sans doute aussi d'après l'abondance des sources que l'on rencontre en ouvrant des canaux dans le territoire milanais, les ingénieurs de ce pays sont dans l'usage de comprendre dans leurs devis des sommes élevées pour épuisements; et, après l'exécution, cette nature de travaux s'élève souvent au dixième de la dépense totale. Ce chiffre a été atteint, au nouveau canal de la famille Taverna, qui s'achève en ce moment sur les projets et sous la direction de M. Brioschi, ingénieur milanais de beaucoup de mérite.

Il est constaté aujourd'hui, par les recherches de M. Vicat, que les pierres calcaires, capables de donner des chaux hydrauliques, sont bien plus répandues qu'on ne l'avait d'abord pensé; et que là où ces chaux n'existent pas naturellement, on peut

en composer d'artificielles. Je ferai remarquer en outre que l'usage de la pouzzolane, qui est l'objet d'un grand commerce dans le midi de l'Italie, s'est extrêmement étendu, en même temps que son prix a baissé. Aujourd'hui on peut s'en servir presque partout, avec avantage, puisque l'on a toutes les facilités désirables pour s'en procurer, d'après sa valeur modique de 40 à 45 francs le mètre cube, dans les ports de Livourne, Civita-Vecchia, Gênes, et autres lieux.

Étanchements. — C'est particulièrement dans les parties en remblais que les canaux artificiels sont exposés aux filtrations et aux pertes d'eau. Ceux qui ne servent qu'à la navigation, et qui peuvent être placés dans des terrains bas, où ils avoisinent, et même où ils rencontrent quelquefois, les nappes d'eau souterraines existant alors à peu de profondeur, ne sont que faiblement exposés à cet inconvénient, en comparaison des canaux d'arrosage, qui doivent occuper une situation élevée au-dessus des terrains environnants, et qui, de plus, sont à eau courante. On peut encore ajouter que les filtrations y sont plus défavorables que partout ailleurs, puisque l'eau que renferment ces canaux a une valeur vénale fort élevée ; on doit donc chercher à les en préserver avec le plus grand soin. Si les travaux étaient toujours exécutés avec les précautions voulues, si les digues, construites exclusivement en terres de qualité convenable, étaient exactement damées, si

l'on n'était pas souvent obligé d'y introduire l'eau un peu plus tôt qu'il ne conviendrait, les chances de filtration pourraient être bien diminuées. L'expérience prouve cependant qu'on ne peut jamais les éviter complétement, et j'ai donné, dans le chapitre XXI, d'après l'observation faite sur les grands canaux du Milanais, une évaluation du chiffre auquel s'arrête, en moyenne, l'effet des filtrations et autres pertes d'eau, sur ces canaux d'une construction ancienne. Celles-là ne pourraient pas être facilement combattues par des moyens de précaution, parce qu'étant ordinairement disséminées sur toute la ligne d'un canal, on ignore le point précis sur lequel elles ont lieu.

Au contraire, dans les premiers temps qui suivent l'achèvement d'un ouvrage de cette nature, il y a toujours des veines perméables de terrain qui se trouvent mises à nu, toujours quelque remblai imparfaitement comprimé, et alors on éprouve, lors de la mise en eau, et souvent pendant un temps plus ou moins long, au delà de cette époque, des pertes ou filtrations temporaires, occasionnées par des imperfections locales, dans l'exécution des terrassements ou dans celle des maçonneries. Ces pertes-là sont souvent très-considérables, ou, pour mieux dire, elles n'ont pas de limites. Lorsqu'on aperçoit, à la base d'une digue ou remblai d'un canal nouveau, un simple suintement, par lequel l'eau commence à se faire jour, si l'on n'y porte pas immé-

diatement remède, le mal s'accroîtra avec rapidité, et il aboutira inévitablement à une brèche, dont la réparation sera toujours grave. C'est donc surtout ici qu'on doit prendre pour règle cette sage maxime : *Principiis obsta.*

Le meilleur de tous les moyens de remédier aux pertes d'eau par filtration, est l'étanchement naturel, au moyen des eaux troubles, et, dans tout état de choses, on ne saurait mieux faire que d'introduire de pareilles eaux dans un canal d'irrigation récemment achevé, en les y retenant au moyen de batardeaux, et en les agitant, au besoin, avec des rateaux ou rabots, pour faire resservir les dépôts qui se seraient déjà formés. L'eau tenant en suspension du sable très-fin, n'est pas moins bonne pour cette opération que celle qui est chargée de matières terreuses. Ce procédé simple et économique a pour lui la sanction de l'expérience, et un assez grand nombre de canaux qui éprouvaient des pertes considérables ont été étanchés ainsi. Mais il convient principalement contre les pertes qui ont lieu dans des bancs de terres maigres, ou dans des graviers fins. Quand ces pertes se font dans des fissures de rochers, dans des galets ou des graviers d'un gros volume, il faut recourir à d'autres moyens.

L'étanchement à l'aide de corrois de glaise est le meilleur de tous, à moins qu'on ne soit obligé d'aller chercher cette terre à une trop grande dis-

tance. Les corrois peuvent s'employer à nu, en enlevant des talus intérieurs et du fond du canal une épaisseur convenable du terrain perméable, que l'on remplace par une épaisseur semblable de glaise, bien corroyée, et battue avec soin. Mais en général il vaut mieux employer ces corrois à l'intérieur même des digues, où ils se conservent mieux, n'étant point exposés aux alternatives de sécheresse et d'humidité. Les taupes, qui sont naturellement attirées vers les lieux humides, pour y ouvrir leurs galeries, sont les plus grands ennemis des corrois de glaise; on doit donc chercher ou à leur en empêcher l'accès, ou même à les détruire entièrement, à proximité de ces ouvrages. Quoiqu'il ne s'agisse ici que d'un emploi de terre, j'ai compris les corrois dans les ouvrages d'art, parce que la main-d'œuvre en fait la principale valeur.

L'étanchement des pertes qui ont lieu dans des fissures de rocher, ou dans des fondations d'ouvrages d'art, partout enfin où il y a de la pierre, ne peuvent se faire qu'avec l'emploi des ciments hydrauliques. Les plus avantageux sont ceux qui durent le plus longtemps.

Murs de soutenement et canaux en maçonnerie. — Quand le terrain sur lequel doit être établi un canal d'arrosage, surtout d'une dimension médiocre, est trop incliné, ou trop perméable, on ne doit pas hésiter à remplacer, par des murs en maçonnerie hydraulique, les terres rapportées qui

seraient exposées à glisser sur les plans inclinés du sol naturel. Alors on forme toute la section du canal en maçonnerie, avec un rejointoiement intérieur en ciment hydraulique de la meilleure qualité. Quand ces ciments sont excellents, comme ceux que donne la pouzzolane, leur emploi dans les maçonneries de briques ou de moellons suffit souvent pour empêcher toute perte d'eau, sans le secours d'aucun rejointoiement.

Pour peu qu'un terrain soit incliné au delà de huit ou dix pour cent, ou qu'il soit défavorable par d'autres circonstances, et à moins que la maçonnerie hydraulique ne soit, par exception, dans le pays, à un prix excessivement élevé, on ne doit pas hésiter de préférer cette disposition à l'emploi des terrassements de mauvaise nature, dans lesquels on ne peut maintenir l'eau qu'avec des dépenses consécutives, qui finissent par dépasser beaucoup celles de premier établissement.

Les planches x et xi, représentant les principaux profils en travers d'un canal d'arrosage, projeté en Piémont, par M. l'ingénieur Calvi, dans des terrains de gravier, de schiste, et de rochers fendillés, indiquent les situations dans lesquelles ce système doit toujours être adopté.

Souterrains. — Les canaux de navigation à point de partage ont généralement un souterrain d'une longueur notable. L'inconvénient de la dépense qu'il nécessite est compensé par plusieurs

avantages, dont les principaux sont : 1° de diminuer la hauteur du seuil ou du col à franchir, en réduisant le nombre des écluses; 2° de pouvoir placer les réservoirs alimentaires de ces sortes de canaux dans une situation plus basse, où ils reçoivent l'eau d'une superficie plus étendue, et où ils la retiennent plus facilement.

Sur les canaux d'arrosage, les souterrains n'existent qu'accidentellement; cependant il y a des cas où ils y sont indispensables. On ne pourrait prendre pour règle la situation exceptionnelle du canal de Marseille, qui, sur une longueur totale de 92 kilomètres, compte 41 souterrains, dont deux ont 3500 mètres, et dont les longueurs réunies sont de plus 16 kilomètres. Ainsi que je l'ai fait remarquer, tome Ier, page 214, ce canal, destiné principalement à satisfaire, au point de vue de la salubrité et de l'agrément, les besoins d'une opulente cité, ne serait pas un emploi de fonds avantageux, pour une entreprise qui n'aurait que l'arrosage pour objet; et s'il eût été ouvert pour cette seule destination, son tracé aurait dû être différent.

On voit cependant quelques souterrains sur les canaux de cette espèce. Il y en a deux petits sur les dérivations appartenant aux communes de Miramas et de Saint-Chamas, alimentées par les eaux de Crapone et de Boisgelin, département des Bouches-du-Rhône. On remarque, dans le même département, à l'origine de la branche septentrio-

nale du canal des Alpines, le percé d'Orgon, ayant 400 mètres de longueur sur 7 à 8 mètres d'ouverture. Je n'en connais point sur les canaux de la Lombardie; mais en Piémont, on remarque, sur le canal de Caluso, les deux galeries de Saint-Georges, ayant ensemble 1416 mètres de longueur, sur un peu plus de 3 mètres d'ouverture. J'en ai déjà parlé en donnant précédemment la description de ce canal; leur section se trouve représentée pl. XI, fig. 17. La fig. 7 indique une galerie à ouvrir dans le rocher, sur un canal projeté dans la province d'Alexandrie. L'emploi de la maçonnerie y est restreint à la cuvette du canal.

Les plus petits souterrains, ceux de $2^m,50$ à 3^m de largeur, ne peuvent guère coûter moins de 150 à 200 francs le mètre courant; les plus grands, ceux qui ont de 8^m à 9^m d'ouverture, comme cela a lieu aux points de partage des canaux de navigation, coûtent, dans des circonstances ordinaires, de 1200 à 1500 francs le mètre courant. Mais il y a des souterrains de cette dimension dont le prix dépasse 2000 francs; pour d'autres il va bien au delà.

On trouve, sur les divers modes de construction des souterrains, des détails très-complets dans l'ouvrage de M. l'inspecteur Minard, qui a consacré deux chapitres à cet objet important.

Radiers; revêtements de talus.—Des radiers ou pavés en cailloutage, maintenus au besoin par des dalles, pieux ou piquets, sont établis sur le fond

des canaux, dans les endroits où, d'après la vitesse du courant, la qualité du sol naturel ne serait pas de nature à résister aux corrosions. Le Naviglio-Grande, dont les pentes sont très-fortes, a exigé de semblables radiers, qui occupent aujourd'hui plusieurs lieues de longueur; et cette longueur sera probablement encore augmentée. Indépendamment de ces radiers et des sections tout en maçonnerie dont je viens de parler précédemment, il y a, pour les berges et talus, des revêtements proprement dits, qui sont d'une grande utilité; car si, sur les canaux de seule navigation, les talus éprouvent toujours une dégradation notable à la ligne d'eau, par suite du mouvement ondulatoire occasionné au passage des bateaux, les canaux à eau courante sont encore plus exposés à cet inconvénient, surtout s'ils sont rendus aptes à la navigation ascendante, puisque alors les remous ont une action bien plus offensive sur les berges non défendues.

Les revêtements en usage sur les canaux du nord de l'Italie, sont de différentes espèces. On y voit quelques perrés, à sec, ou à mortier. Dans le voisinage des embouchures, là où les pentes et la vitesse sont considérables, ces revêtements sont ordinairement formés en blocs, dalles ou libages, d'un gros volume; mais dans le plus grand nombre de cas ils sont de véritables murs en brique et à mortier, ayant une épaisseur suffisante pour être murs de

soutenement. La face antérieure de ces revêtements est en outre ordinairement garantie contre le choc des bateaux par des pieux de rive, couronnés de moises horizontales, et dont l'espacement varie de $1^m,50$ à 2^m, au plus. Leur parement extérieur présente un fruit ou inclinaison assez considérable, tandis que le parement du côté des terres est vertical, et accompagné d'éperons, ou contreforts intérieurs, qui pénètrent, plus ou moins, avant dans les terres. L'épaisseur et l'espacement de ces contreforts sont variables, suivant la nature et la hauteur des terres à soutenir. Quand le fonds est mauvais, ces murs sont fondés sur pilotis. La fig. 15, pl. XI, et les fig. 5, 6, 7, pl. XXIII, représentent ces diverses dispositions.

On conçoit que c'est là un accessoire assez dispendieux dans la construction des canaux. Il est très à désirer que les dépenses de cette nature soient prévues et évaluées dans les projets, plutôt que d'être faites ultérieurement à titre d'augmentations; d'autant plus que quand les ouvrages de cette espèce deviennent nécessaires, c'est ordinairement sur de grandes longueurs, à cause du développement des deux rives. Sur les principaux canaux du Milanais, l'étendue de ces revêtements, dont la nécessité est bien reconnue, a été continuellement augmentée et s'accroîtra encore. Pour trois seulement de ces canaux, la longueur des revêtements dans ce système est aujourd'hui répartie ainsi :

Naviglio-Interno.	64^{k}.200
Naviglio-Martesana (y compris le canal intérieur).	58 .000
Canal de Pavie.	49 .800
Ensemble. . .	172^{k}.000

ou 43 lieues.

Un aperçu de la dépense de cet ouvrage accessoire donnera l'idée de son importance.

Supposons que l'épaisseur des revêtements dont il s'agit ne soit que de 0^{m},70, eu égard aux contreforts, et leur hauteur de 1^{m},50, y compris fondations ; le cube, par 2 mètres courants, sera de 2^{m},10. Dans le pays, le mètre cube de maçonnerie de briques, revient à 15 ou 16 francs, dans les cas ordinaires, et à 24 francs, pour peu qu'il y ait d'épuisements; adoptant le prix minimum de 16 francs, on trouve pour la dépense de cette maçonnerie 33 fr. 60 c. ; et en supposant qu'il n'y ait que de 2^{m} en 2^{m}, un pieu, coûtant, mis en place et moisé, le prix minime de 10 fr. 40 c., on trouve que la dépense des revêtements dont il s'agit revient moyennement à 44 fr. les 2 mètres, ou à 22 fr. le mètre courant. Ci pour 172.000^{m}. . . 3.784.000 fr.

Dans les pays où l'on aura un mètre cube de maçonnerie, de qualité convenable, pour moins de 16 fr., et un pilot, mis en place et moisé, pour moins de 10 fr. 40 c., on pourra peut-être n'estimer cette dépense qu'à 20.000 francs par kilomètre, ou à

80.000 francs par lieue. Mais, dans tous les cas, c'est là un des éléments notables de la dépense des canaux de navigation et d'arrosage.

Martellières; vannes; clapets; déversoirs. — J'ai déjà parlé précédemment d'un système de vannes à clapet qui peuvent se placer à l'extrémité des colateurs ou des canaux de décharge quand ceux-ci aboutissent à un cours d'eau sujet à de grandes crues, et pourvu de digues. Il existe un système de vannes analogues, ayant aussi leurs tourillons placés dans un axe horizontal, et que l'on a employées quelquefois aux embouchures des canaux d'arrosage, en les disposant de manière que, tout en laissant passer les eaux jusqu'à un niveau moyen, elles s'opposent à leur entrée lorsqu'il arrive une crue subite ayant l'inconvénient de les rendre troubles ou chargées de graviers. Sans doute ces moyens sont ingénieux, mais ils sont peu pratiques, et l'on fera toujours mieux d'adopter, pour le même objet, de simples vannes ou martellières, surveillées et manœuvrées par des eygadiers bien soigneux.

Les vannes qui servent à l'établissement des déchargeoirs sont faites, dans le système connu de tout le monde, avec seuil, jouées, potilles et chapeau; et, quand on en a la facilité, ces parties fixes s'établissent tout en pierre, préférablement au bois, qui est périssable. La seule observation que j'aie à faire ici porte sur leur dimension et sur leur manœuvre.

Les vannes de fond sont le principal et pour ainsi

dire le seul ouvrage régulateur du niveau des eaux dans les canaux; car l'écoulement spontané qui s'opère superficiellement par les déversoirs est réservé pour les moments des crues, dans le but surtout d'éviter des dommages. Plus les eaux sont précieuses, plus leur distribution et leur partage demandent à être faits avec exactitude; plus par conséquent les vannes, servant à opérer cette répartition, ont besoin d'être manœuvrées avec célérité. Cette observation est tout à fait confirmée par la pratique du Milanais, où l'on remarque que les vannes des déchargeoirs ont une disposition normale, constamment observée.

Dans les autres pays les vannes de cette espèce ont des largeurs variables, qui vont quelquefois jusqu'à $1^m,50$, ou même 2^m, et plus. Leur manœuvre s'effectue au moyen d'engrenages, ou au moyen de grands leviers, entrant dans des trous pratiqués le long du montant des vannes; ou enfin, à l'aide de vis à écrous, soit en fer (fig. 12, pl. VIII), soit en bois (fig. 14). Dans le Milanais, les vannes de distribution, ou de décharge, établies sur les canaux d'irrigation, ont, pour les hauteurs d'eau habituelles de $1^m,50$ à $1^m,80$, une largeur à peu près uniforme, qui n'excède jamais $0^m,87$. Quand il y a plus de profondeur, leur partie supérieure, sur une hauteur qui varie de $0^m,35$ à $0^m,44$, est mobile séparément, et s'enlève tout à fait, à l'aide de deux petits montants verticaux (fig. 14). Par cette manœuvre très-

expéditive, les martellières fonctionnent à volonté comme des déversoirs, et quand elle est suffisante on n'a pas besoin de recourir à celle des vannes elles-mêmes. Mais dans les localités où les divers usages de l'eau ont atteint un extrême développement, comme cela se voit au sud de Milan, où il se fait un échange continuel entre les eaux de sept ou huit canaux différents, le déversement superficiel ne suffit pas, et les vannes elles-mêmes sont presque constamment en mouvement.

C'est sur ces points-là que l'on peut être certain de rencontrer les dispositions que l'expérience a consacrées comme les plus avantageuses, pour obtenir la manœuvre, à la fois simple et facile, des ouvrages servant à la transmission des eaux; c'est en effet ce que j'ai remarqué sur les canaux du Milanais.

Les vannes de fond, réduites toujours, comme on vient de le voir, à une largeur limitée de $0^{m},87$, ont leur queue pourvue d'une crémaillère en fer, qui y est incrustée et fixée; et c'est avec un levier court, également en fer, du poids de 15 à 20 kilogrammes, appuyé, soit sur un morceau de bois, soit sur une saillie quelconque, que l'eygadier obtient, avec toute la célérité désirable, la manœuvre des vannes, qu'il n'opère que d'après l'inspection des hydromètres.

Entre les mains d'un homme robuste, comme doivent toujours l'être les agents de cette classe, trois secondes et trois coups de levier suffisent pour

procurer à l'eau, par ces vannes de fond, un débouché de $0^m,50$ de hauteur, qui, sous l'influence de la pression supérieure, agit immédiatement avec une grande puissance sur le volume d'eau. Cette promptitude, qui, dans le cas actuel, constitue la perfection des appareils de distribution, sera jugée également nécessaire partout où l'eau courante sera devenue, comme dans le Milanais, une marchandise précieuse.

Quant aux déversoirs, qui complètent le système des ouvrages régulateurs des eaux dans les canaux d'arrosage, il n'y a rien de particulier à en dire, attendu qu'ils ne diffèrent en rien de ceux que l'on établit sur les biefs d'usines, ou partout ailleurs. Je me bornerai donc à remarquer qu'ils sont un des plus sûrs moyens de remédier aux dommages que les crues d'eau occasionnent toujours dans les canaux artificiels, quand ils n'ont pu en être entièrement préservés. Avant l'établissement des six grands déversoirs qui existent aujourd'hui sur le Naviglio-Grande, cet important canal éprouvait à chaque crue du Tessin de véritables désastres. Depuis leur construction, il est presque entièrement à l'abri de ce danger. On ne doit donc jamais épargner ce genre d'ouvrage sur les nouveaux canaux, pour peu que l'utilité s'en fasse sentir.

Prises d'eau, ou embouchures des canaux.— Les prises d'eau des canaux secondaires dans un canal principal doivent toujours se faire au moyen

de modules régulateurs, parce qu'il s'agit d'obtenir une distribution en quantité exactement déterminée. Mais les embouchures des canaux principaux dans les fleuves et rivières ne sont pas assujetties à une limitation aussi rigoureuse. Vu la nécessité où l'on est partout d'encourager l'agriculture, c'est ordinairement par concession gratuite que la faculté de dériver l'eau nécessaire, des rivières, même domaniales, est attribuée aux fondateurs de canaux d'irrigation. D'un autre côté, comme l'administration publique, chargée de cette importante attribution, ne pourrait, sans les plus graves inconvénients, accorder des concessions illimitées, ainsi que cela se faisait autrefois, c'est par les procédés ordinaires de jaugeage qu'on détermine les dérivations de cette espèce.

La meilleure marche à suivre consiste à prescrire que leur section, régularisée à l'origine sur une longueur suffisante, et bien arrêtée par des perrés ou par des profils en maconnerie, devra satisfaire à la formule déjà citée plus haut, page 220, et qui est spécialement relative à l'écoulement de l'eau dans les canaux. Si l'on a la pente et la hauteur d'eau, l'expression de la largeur moyenne sera donnée, comme on l'a vu, par cette expression très-simple :

$$x = \frac{Q}{50h.\sqrt{h.\cos.\varphi}}.$$

Il est un autre moyen, d'une application moins générale, qui consiste à régler l'introduction de l'eau, dans le canal de dérivation, au moyen d'un déversoir, et alors on peut en calculer le débit d'après la formule indiquée plus haut à l'article des jaugeages. Cette formule, calculée par d'Aubuisson comme un cas particulier de l'écoulement par les orifices, est présentée de cette manière très-simple :

$$Q = 1{,}80\, l h \sqrt{h}$$

d'où :

$$h = 0{,}676 \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{l}\right)^2}$$

Elle peut donc servir à résoudre toutes les questions dans lesquelles, étant données deux des trois quantités, Q, l, et h, il s'agit de trouver la troisième. Si l'on se demande, par exemple, de quelle hauteur l'eau doit passer sur un déversoir de 1 mètre de largeur, pour débiter 1 mètre cube par seconde, on trouve : $h = 1^m{,}68$. Si la largeur devait être de $1^m{,}08$, on aurait, pour le même débit : $h = 0^m{,}64$, et ainsi de suite.

Mais il y a de nombreuses distinctions à faire ; 1° suivant que, en amont du déversoir, l'eau est en repos, ou qu'elle y arrive avec une certaine vitesse ; 2° suivant que cette vitesse a une direction plus ou moins oblique ; 3° suivant le rapport qui

existe entre les largeurs respectives du déversoir, et de la rivière en amont; car dans les expériences qui ont servi à établir la formule ci-dessus, ce rapport n'a jamais dépassé 1/10e ou 1/12e. De plus il est évident que l'écoulement sur un déversoir n'étant ici qu'un cas particulier de celui qui s'opère par des orifices, est modifié, par les effets variables de la contraction, d'une manière analogue à ce qui a lieu dans le cas général. De sorte que, à hauteur égale, les débits augmentent nécessairement dans un rapport plus grand que les accroissements de largeur, ainsi que je l'ai démontré, et vérifié par expérience, à l'occasion des modules.

Cette formule, et l'expression plus générale de l'écoulement par un orifice, au lieu d'indiquer un débit exactement proportionnel à la largeur du pertuis ou du déversoir, devraient donc être complétées, d'après une expérience spéciale, par une certaine fonction de l, qui pût accuser ces excédants de débit, sur lesquels j'ai donné précédemment des explications suffisantes. J'ajouterai encore que rien n'est plus incertain que la justesse de la même formule, pour le cas où il faut tenir compte d'une vitesse préalable de l'eau arrivant sur le déversoir, et donner comme équivalant de cette vitesse une certaine hauteur génératrice, qui s'ajoute à la hauteur représentative de la vitesse d'écoulement, quand le liquide, en amont du déversoir, est à l'état de repos.

Par tous ces motifs il est donc préférable de régler la section, ou la portée d'eau, des canaux de dérivation au moyen de la formule de Tadini, basée sur soixante expériences spéciales, faites sur ce mode particulier d'écoulement. Son emploi est d'ailleurs tout aussi simple que celui de la formule des déversoirs dont je viens de signaler les imperfections.

Les dispositions à adopter pour la nature, l'emplacement et la direction des ouvrages accessoires que réclame toujours l'établissement d'une dérivation, ne peuvent être l'objet d'aucune règle générale; parce que tout, à cet égard, est subordonné au régime de la rivière, à ses pentes, à l'état habituel de ses eaux, suivant qu'elles sont claires ou troubles, aux modifications qui peuvent être à craindre dans sa direction, etc.

A moins de rares exceptions, fondées sur la nature torrentielle, et surtout sur l'instabilité du lit du cours d'eau dans lequel on établit l'embouchure d'un canal, le système à préférer pour les prises d'eau est celui qui est à peu près universellement adopté, sur les canaux du nord de l'Italie, tant dans la Lombardie que dans le Piémont. Les planches VI, VII, et VIII, et l'explication qui y est jointe, donnent d'une manière complète le détail des ouvrages de cette catégorie.

On voit d'après cela que les prises d'eau sont toujours établies à l'aide d'un barrage-déversoir, qui

est généralement d'une grande longueur, et placé dans une direction très-oblique au courant. Celui qui est situé en tête du Naviglio-Grande (pl. VI, fig. 1), ne forme qu'un barrage incomplet, d'après l'existence, à son extrémité d'amont, de la grande ouverture de 65 mètres de largeur, qu'on nomme *la bouche de Pavie*; ou plutôt d'après la direction de ce barrage, dans le bras principal du Tessin, on pourrait dire qu'il fait principalement fonction d'un simple partiteur entre le canal et le cours inférieur de la rivière.

Au canal de la Martesana, dont la prise d'eau est représentée pl. VII, fig. 2, le barrage-déversoir s'étend depuis l'origine de la dérivation jusqu'à la rive opposée. Mais il est muni de quatre grands pertuis, toujours ouverts, qui offrent un puissant moyen de décharge aux eaux de l'Adda, dont elles régularisent le niveau, aux abords de cette embouchure.

Une semblable précaution n'a point été observée au barrage de prise d'eau du canal de Paderno (fig. 1). Ce barrage, quoiqu'il aille comme le précédent d'une rive à l'autre, n'offre cependant, aux grandes eaux de l'impétueux Adda, qu'un débouché superficiel. Il est hors de doute que cet état de choses contribue beaucoup à la violence des crues que ce canal éprouve dans toute leur force, et qui mettent fréquemment son existence en question. Les nombreux déchargeoirs que l'on a établis successive-

ment sur sa rive gauche, ne remédient que très-incomplétement à cet inconvénient; tandis que deux ou trois pertuis de grande dimension, ouverts dans le massif du déversoir, atténueraient beaucoup l'effet funeste de ces crues.

Un déversoir semblable sert à la vérité à l'établissement de la nouvelle prise d'eau du canal de Parella (fig. 3), dérivé du torrent de Chiuselle, dans la province d'Ivrée, en Piémont; mais on peut remarquer qu'il ne barre ainsi qu'un des bras de ce torrent, et que la prise d'eau, placée presque d'équerre sur le bras principal, s'opère par un aqueduc ou pertuis couvert, dans lequel l'introduction de l'eau est toujours très-limitée; tandis que ce déversoir lui-même, placé dans une direction peu oblique sur le courant, est franchi très-facilement par les grandes eaux.

Même en conservant le barrage tel qu'il est, l'établissement d'une semblable embouchure couverte, faite en matériaux suffisamment résistants, serait peut-être un des moyens de conjurer les dangers qui menacent le canal de Paderno.

Sauf un très-petit nombre d'exceptions, tous les canaux de la Lombardie, dérivés du Sério, de l'Oglio, de la Mella, de la Chiese, etc., et tous les canaux du Piémont, dérivés de la Doire-Baltée, de l'Orco, de la Chiusella, de la Sesia et du Tessin, ont leurs prises d'eau établies dans ce système; c'est-à-dire ont pour ouvrage principal un barrage-

déversoir plus ou moins oblique à la direction de la rivière ou du torrent dont ils dérivent, et des ouvrages accessoires, tels que murs de jouée, déchargeoirs, revêtements et défenses de rives, pilotis et pieux d'enceinte, grillages en charpente avec enrochements, etc.

Dans la plupart des anciens canaux ces embouchures sont libres, et il faut des batardeaux temporaires pour les mettre en chômage. Dans ceux que l'on établit actuellement, il est toujours utile que lesdites embouchures soient pourvues de portes ou martellières, qui permettent, 1° de régler, comme cela est convenable, l'introduction du volume d'eau qui doit rester, autant que possible, invariable en tout temps; 2° d'isoler entièrement le canal de la rivière, pour le temps des réparations et des curages annuels.

Barrages. — A très-peu d'exceptions près, tous les cours d'eau du nord de l'Italie qui alimentent des canaux d'arrosage n'ont leurs basses eaux qu'en hiver, et conservent en été le maximum de leur débit; de sorte que si les embouchures des canaux de cette espèce pouvaient exister convenablement sans le secours de barrages, c'est là qu'on devrait les rencontrer. Cependant nous venons de voir que cette construction est regardée comme indispensable, et même comme fondamentale, parmi les ouvrages constitutifs des prises d'eau.

Cela est facile à concevoir, puisqu'il faut néces-

sairement un ouvrage de main d'homme pour assurer la continuité de l'écoulement de l'eau, dans une direction qui n'est jamais aussi favorablement placée pour la recevoir que le lit naturel.

Cependant, lorsqu'il s'agit de rivières torrentielles et à fond très-mobile, comme cela a lieu pour la Durance, il est presque impossible d'opérer dans ce système; car tout barrage fixe y détermine de suite d'énormes ensablements, dont les conséquences ne peuvent être que funestes aux abords d'une prise d'eau. Cela est doublement regrettable sur cette rivière qui, placée de manière à alimenter toutes les irrigations de la Provence, est encore sujette au grave inconvénient des étiages d'automne. Ces deux circonstances, qui s'aggravent l'une par l'autre, font que l'alimentation des canaux de ce pays manque de régularité, et que dès lors ils ne rendent qu'une partie des services que l'on aurait pu en attendre, s'ils avaient fonctionné comme les canaux de l'Italie, sous l'utile influence de barrages fixes, qui améliorent toujours d'une manière notable le régime des dérivations.

Le choix du système de barrage qui convient le mieux dans telle ou telle contrée, exige une étude approfondie des ressources locales en fait de matériaux, de la nature du fond, et du régime particulier de la rivière que l'on doit barrer. Les matériaux les plus économiques sont souvent ceux qui résistent le mieux à l'action continuelle des eaux;

mais l'expérience est, dans tous les cas, le meilleur guide à suivre.

Sur des rivières impétueuses et d'un grand volume, comme sont le Tessin et l'Adda, aux abords desquels on se procure aisément des blocs et libages, le système des barrages, représentés dans les planches VI, VII et VIII, est toujours celui qui offre le plus de garanties.

Dans d'autres localités on recourt avec avantage aux barrages construits seulement en bois et fascines, rarement aux barrages en terre et gazon, qui ne conviennent que sur les eaux sans vitesse, ce qui n'est jamais le cas près des embouchures de canaux d'arrosage.

Les ouvrages de ce genre les plus remarquables que j'aie vus dans la Lombardie, d'après leur durée et la grande économie de leur construction, sont des barrages construits en pieux, palplanches, graviers et fascines. C'est-à-dire que le corps de ces barrages est tout en graviers, qui sont seulement encaissés, par gradins, entre des pieux, et maintenus par des fascinages. Leur pesanteur spécifique suffit pour leur donner une forte résistance contre l'eau. Ces barrages sont en usage sur plusieurs des nombreuses dérivations de la Muzza, dans les provinces de Milan et de Lodi. Je crois même que le grand canal de l'Addetta est barré plusieurs fois dans ce système.

Quel que soit le mode de construction que l'on

adopte pour un barrage, ses fondations, et la nécessité de les préserver des affouillements, sont toujours la chose principale. On ne doit jamais perdre de vue que l'action perpétuelle d'un courant d'eau a une influence bien destructive.

Je pense qu'on doit attribuer à l'intention de ménager les radiers et fondations, à l'aval des barrages, la direction, généralement très-oblique, de tous ceux de ces ouvrages qui existent aux abords des prises d'eau des canaux d'arrosage, dans le nord de l'Italie. Car, indépendamment de ce que le choc du courant a moins d'effet sur eux, dans cette situation, la nappe d'eau qui déverse par-dessus a d'autant moins de hauteur et d'action, sur le fond en aval, qu'elle est répartie sur une plus grande longueur. Sans cela il y aurait de l'économie à établir les barrages suivant la ligne la plus courte, qui est la direction normale.

Modules. — Les nombreux détails donnés dans le livre IV, sur la construction de tous les appareils régulateurs, usités dans les états et provinces du nord de l'Italie, et sur le module milanais en particulier, me dispensent d'y revenir ici. Je me borne donc à renvoyer aux planches XII, XIII et XIV, dans lesquelles se trouvent les plans, coupes et élévations, de plusieurs de ces appareils. La première de ces planches retrace la disposition adoptée pour cet ouvrage, dans les provinces du Piémont; elle est caractérisée par l'évasement du sas qui se remarque

toujours aux abords de la bouche régulatrice; moyen utile de corriger l'effet de la vitesse centrale de l'eau. Les deux autres planches représentent des constructions analogues, dans le système milanais, sur lequel, dans les développements qui précèdent, je crois n'avoir rien omis d'essentiel.

Partiteurs. — Le seul moyen bien exact de partager un volume d'eau courante, suivant des proportions données, entre deux ou plusieurs intéressés, consiste à le jauger d'abord, notamment au moyen d'un module, ainsi que cela est indiqué par la méthode n° VI, relatée ci-dessus, p. 44; puis à opérer, dans les proportions voulues, entre les copartageants, une distribution exacte du même volume d'eau, au moyen des subdivisions de ce module, que je suppose avoir été amené à une précision rigoureuse. Mais il faut, pour cela, pouvoir disposer d'une chute d'environ un mètre, ce qui n'est pas toujours facile, et établir en outre plusieurs appareils régulateurs. La fig. 5, pl. XVII, qui représente un double module dans le système piémontais, peut donner l'idée de cette disposition.

Cependant dans le plus grand nombre de cas les usagers sont disposés à se contenter d'une répartition approximative du volume d'eau total, auquel ils avaient droit en commun. C'est alors que l'on renonce à l'emploi des modules pour recourir à l'usage plus simple d'un partiteur, qui n'exige aucune manœuvre et presque pas de surveillance.

Les partiteurs ont donc pour objet de diviser entre divers usagers et dans des proportions définies, tout le volume d'eau courante que fournit un canal, sans recourir à l'emploi des modules; c'est-à-dire sans que l'on ait besoin de se rendre compte de la quantité d'eau effectivement débitée par ce canal. En Italie, le cas général des partiteurs est celui où ils sont établis sur le courant à partager, sans le secours d'un barrage.

Si, comme je l'ai déjà supposé dans les considérations élémentaires placées au commencement de ce volume, un courant d'eau, placé dans les meilleures conditions de régularité, pouvait n'admettre qu'une seule vitesse, en d'autres termes, si la vitesse était constante, soit au milieu, soit aux bords du canal, rien ne serait plus simple que de partager son débit dans des rapports quelconques; car tous les filets d'eau étant animés de cette vitesse unique, la figure qui représenterait l'ensemble de leurs produits, pendant un temps donné, aurait la forme d'un rectangle, dont la largeur serait celle du courant à partager, et dont la longueur serait proportionnelle au temps pendant lequel on voudrait en mesurer l'écoulement.

Il est certain qu'alors les produits partiels seraient exactement dans le même rapport que les subdivisions de la largeur, en quelque nombre qu'elles fussent. Mais cette hypothèse ne saurait se réaliser, puisque l'on ne pourra jamais empêcher que la

vitesse des tranches longitudinales du liquide à partager ne soit à son maximum au milieu, et à son minimum vers les bords du courant. Dès lors la figure représentative des produits partiels de ces tranches, tout en restant comprise, comme il vient d'être dit, entre deux lignes parallèles, espacées selon la largeur du canal, sera terminée, vers l'aval, par une ligne brisée, dont la description particulière pourrait se faire d'une manière très-approximative, à l'aide d'un nombre suffisant de flotteurs du système de ceux que j'ai précédemment décrits en traitant des jaugeages. Mais la seule chose essentielle à remarquer ici, c'est que cette courbe approchera toujours plus ou moins d'un angle saillant ordinaire.

Cette assimilation géométrique me semble devoir faciliter beaucoup les moyens d'apprécier, tout à la fois, les ressources et l'insuffisance des partiteurs. En effet, puisque par leur emploi on se trouve à peu près dans le même cas que s'il s'agissait de partager un angle, on voit d'abord que si le partage doit avoir lieu en deux portions égales, la difficulté ne sera pas réelle, puisqu'un angle se partage très-exactement ainsi, au moyen de la perpendiculaire abaissée sur la base du triangle isocèle dont il est le sommet. Il s'agira donc simplement, dans ce cas, d'établir le plan de séparation exactement au milieu de la largeur du courant, qui, bien entendu, aura été convenablement encaissé et régularisé entre des

plans bien parallèles, sur une longueur suffisante, de manière que le fil de l'eau, ou la ligne de plus grande vitesse, qui est ici la chose essentielle, occupe nécessairement le milieu du courant. Dans la pratique, cette ligne de séparation est formée par l'arête d'une pile aiguë en pierre de taille, ainsi qu'on le voit par les fig. 3 et 5, planche xv. Seulement, le partiteur proprement dit n'est pas réduit à cette seule construction; il se compose encore des ouvrages accessoires dont il va être parlé plus loin, et qui ont pour but de régulariser l'écoulement de l'eau, en amont et en aval.

Dans le cas d'égalité dont il s'agit, le partage peut être réputé parfait, attendu que les deux branches du partiteur, placées dans des conditions identiques relativement à la vitesse maximum, recevront symétriquement un pareil nombre de filets fluides, ayant des vitesses égales. En un mot, l'opération faite de cette manière échappe entièrement à la critique. Et comme rien n'empêche de subdiviser elles-mêmes les premières branches ainsi établies, on peut regarder qu'on est en possession d'obtenir exactement, par ce procédé, la moitié, le quart, le huitième, etc., du volume d'eau coulant dans un canal.

Mais du moment que l'on demande à partager la portée d'un canal, soit en deux branches inégales, soit en trois ou plusieurs branches, égales ou non, alors si l'on n'a pas recours aux modules, on ne peut

plus avoir aucune certitude, et l'on rentre dans la classe des approximations obtenues par voie de simple tâtonnement. Si, par exemple, pour partager un volume d'eau dans le rapport de 1 à 2, on se contentait de prendre, sans autre précaution, les largeurs respectives des deux branches du partiteur dans ce même rapport, le fil de l'eau ou la vitesse maximum du courant se trouvant naturellement dans la plus grande, y donnerait un excédant notable de débit au préjudice de la plus petite. Si le partage devait avoir lieu en trois portions égales, cet excédant de débit aurait toujours lieu au profit de la branche du milieu; enfin tous les autres cas que l'on pourrait citer rentreraient plus ou moins dans les deux précédents.

Cet inconvénient grave, inhérent à la nature même des partiteurs, n'a point suffi pour en faire abandonner l'emploi. Car ce genre d'édifice étant simple et d'un usage extrêmement commode, on a cherché divers moyens d'en corriger l'inexactitude, afin de pouvoir toujours y chercher les résultats approximatifs, qui suffisent dans le plus grand nombre de cas.

Avant d'indiquer ces moyens, je dirai d'abord que l'inconvénient dont il s'agit n'existe dans toute son étendue que pour les partiteurs simples, c'est-à-dire établis dans l'eau courante, sans emploi d'aucun barrage. Car du moment que l'on peut établir 1° une retenue avec déversoir; 2° un évasement

considérable du canal aux abords de ce déversoir, les chances d'inexactitude d'un partage quelconque se trouvent considérablement atténuées; mais, comme je l'ai déjà remarqué, on ne peut pas établir partout des partiteurs avec déversoir.

Quant à ceux qui sont établis dans l'eau courante, le but des précautions à prendre est de faire en sorte que la vitesse moyenne de l'eau reste sensiblement la même dans les différentes branches, de manière que les produits puissent être regardés comme proportionnels aux largeurs. Pour arriver à ce but, les moyens varient avec les circonstances locales; tantôt on se contente de placer les branches les plus larges dans une direction plus oblique sur la direction du canal principal; tantôt on obtient le même effet en faisant varier la hauteur des seuils qu'il est de règle d'établir à l'origine de chaque branche et à une certaine distance en aval du point de partage, pour régler les pentes de l'eau dans la longueur de l'édifice; tantôt on établit, en amont et en face des branches centrales qui seraient trop favorablement situées, une petite pile avancée, ayant pour objet de diviser le fil de l'eau au profit des branches latérales. Enfin il y a encore plusieurs autres moyens de remplir le même but. C'est à la sagacité de l'ingénieur à savoir, dans telle ou telle situation, choisir les plus convenables.

Soit pour le cas de la division en deux parties égales, dans lequel on peut prétendre à une exacti-

tude complète; soit pour les cas d'un partage inégal, ou multiple, dans lesquels on ne peut plus obtenir qu'une approximation, les précautions d'usage que l'on observe dans la construction des partiteurs sont : 1° de ne les établir jamais que sur des portions rectilignes des canaux; 2° à régulariser la section de ceux-ci, entre des plans bien parallèles, sur une longueur de 140 à 150 mètres au moins, et dans un profil tout en maçonnerie, sur au moins 12 à 15 mètres en amont du point de partage; 3° d'éviter soigneusement les arêtes saillantes des murs, voûtes, etc., qui donneraient lieu à des contractions inégales de l'eau introduite dans les diverses branches; 4° d'éviter également pour ces branches l'emploi des aqueducs couverts et tuyaux de conduite, dans lesquels l'écoulement ne s'opère plus dans les mêmes circonstances que dans les canaux et aqueducs découverts.

Si les partiteurs ordinaires sont inférieurs, sur certains points, à ceux qui empruntent le secours d'un barrage, ils ont aussi leurs avantages particuliers; notamment s'il s'agit d'un canal recevant des eaux troubles ou sujettes à des dépôts et atterrissements. Car on n'évite cet inconvénient, qui est des plus graves dans le cas dont il s'agit, qu'en conservant soigneusement, tant en amont qu'en aval de l'édifice, une pente notable et continue, qui ne peut guère être au-dessous de $0^m,0008$ à $0^m,001$ par mètre.

Il est arrivé, pour les piles de partiteurs, le contraire de ce qui a eu lieu pour les piles de pont. Autrefois celles-ci se faisaient prismatiques et très-aiguës; et actuellement on a adopté la forme circulaire, qui est effectivement préférable. Pour les partiteurs, on avait commencé par établir les piles suivant le contour arrondi, indiqué en *b*, fig. 6, pl. xv; mais comme on a reconnu qu'il s'y arrêtait des herbes et autres corps flottants, on a renoncé tout à fait à cette forme, pour adopter celle qui a pour base un angle très-aigu, indiqué au point *a* de la même figure.

Les partiteurs sont des ouvrages d'une origine extrêmement ancienne, ou du moins cette origine semble coïncider avec celle de l'irrigation elle-même. Il y en a en France qui peuvent justifier cette opinion. Ainsi, des titres remontant jusqu'à 1204, établissent que les eaux de Vaucluse doivent, en sortant de la branche de Védennes, se partager *également* entre celles d'Avignon et de Sorgues, et un partiteur a été établi en cet endroit. Sur divers points, les eaux de Crapone et de Boisgelin se partagent, entre les communes de Miramas et de Saint-Chamas, dans la proportion de 1 à 2; et c'est encore à l'aide de partiteurs que cette division est opérée. Sur les canaux d'Italie, les partiteurs très-anciens sont extrêmement nombreux.

Ponts. — Les ponts et pontceaux destinés au

rétablissement des communications interrompues par les canaux d'irrigation et leurs dépendances, n'ont rien qui leur soit particulier. Dans les pays où l'arrosage a acquis un grand développement, ces ponts finissent par exister en très-grand nombre, sur les voies de communication de toute espèce; et comme les réparations qu'ils exigent tendent toujours à gêner la circulation, il est d'une bonne police d'obliger les propriétaires de canaux à établir ces ponts en maçonnerie, et non en bois. C'est ce qui a lieu en Piémont; et quant aux anciens ponts dans ce système, on les tolère jusqu'à l'époque où leur reconstruction devient nécessaire; alors ils rentrent dans la prescription générale.

La planche XVII, fig. 1 et 2, et les diverses figures de la planche XVIII, donnent le détail de divers ponts et pontceaux de cette espèce, établis sur des routes de différentes largeurs. On voit par plusieurs de ces dessins qu'on ne craint pas en Italie d'établir ces ponts biais, toutes les fois que cette disposition est réclamée par la situation naturelle des abords de la voie de communication qui se trouve interrompue par le canal. Un très-grand nombre de ponts, existant sur les canaux d'arrosage, domaniaux ou particuliers, dans le Piémont et le Milanais, se trouvent dans ce cas.

Quand le canal d'arrosage doit servir aussi à la navigation, on rentre, sous ce rapport, dans l'observation des conditions d'usage, en ce qui concerne

la hauteur sous clef, ou aux naissances, les banquettes de halage, les ponts à tablier mobile, etc.

Aqueducs; ponts-aqueducs; siphons. — On donne indistinctement le nom d'aqueduc à l'ouvrage d'art qui sert à faire traverser un canal par un courant d'eau, soit au-dessous, soit au-dessus. Cependant, comme il est essentiel de distinguer ces deux situations, très-différentes, il est bon de réserver le nom d'aqueduc pour les conduites souterraines, et celui de pont-aqueduc pour celles qui occupent une position élevée, au-dessus d'un cours d'eau, d'un canal, d'un chemin, ou d'un vallon.

Il y a des aqueducs couverts en dalles et des aqueducs voûtés. On doit faire sur ces derniers une observation qui leur est commune avec les ponts en maçonnerie, savoir que l'eau courante éprouve généralement une forte contraction en s'introduisant dans un ouvrage d'art de cette espèce, et que par conséquent on doit prendre, si cela est possible, des précautions pour atténuer cet inconvénient, soit en arrondissant les arêtes, soit en adoptant, pour le cintre des voûtes, les courbes, et la position, qui correspondent à la moindre contraction.

Dans une contrée où l'irrigation est très-active, les aqueducs conduisant des canaux et rigoles de tous les ordres, se traversent sur un grand nombre de points. Il est à remarquer que leurs directions dans ces croisements sont biaises, plus souvent encore que cela ne se remarque dans les ponts. Cela ré-

sulte de l'importance que l'on attache à ménager à ces dérivations toute leur vitesse, tout leur débit, qui pourraient être altérés par les contours qu'on serait obligé de leur faire suivre, pour obtenir dans leur croisement des directions normales.

La plupart de ces observations s'appliquent également aux siphons, dont j'ai donné la définition dans le tome Ier, page 127. Ils appartiennent à la classe des aqueducs souterrains; seulement leur construction et le mode d'écoulement de l'eau sont plus compliqués. L'utilité d'y atténuer autant que possible les effets de la contraction, ne s'y fait pas moins sentir que pour les simples aqueducs.

Mais ce but est beaucoup plus difficile à remplir; car, indépendamment des circonstances accessoires, indiquées plus loin, la seule nécessité d'obliger une eau courante à descendre et à remonter, sous l'effet de sa propre pression, et à s'infléchir, dans ce mouvement anormal, suivant les différents contours d'un ouvrage d'art, suffit toujours pour faire naître des frottements et des causes retardatrices assez puissantes. On peut même remarquer, par la seule inspection des coupes longitudinales de ces ouvrages, représentés en assez grand nombre, pl. XXI—XXIV, qu'avec les formes actuellement en usage, l'effet nuisible, dû particulièrement à la contraction, au passage des siphons, doit être extrêmement notable. Pour l'atténuer, il faudrait pouvoir adopter des formes curvilignes, qui s'obtiennent facilement

dans les ouvrages en fonte ou en fer. Mais jusqu'à présent, malgré leurs avantages incontestables, on a dû renoncer à ces formes, qui entraîneraient de trop grandes difficultés dans l'appareil des voûtes en maçonnerie, ou des défauts de liaison qui seraient plus fâcheux encore.

Si l'on projette des siphons, avec les plans inclinés et les arêtes saillantes qui s'y remarquent jusqu'à présent, on doit donc tenir un compte suffisant des diverses circonstances qui viennent d'être mentionnées. Aucune expérience, à cet égard, ne permet d'établir, comme indication préalable, un chiffre quelconque. C'est aux ingénieurs, d'après leurs connaissances en hydraulique, à bien apprécier, dans chaque cas particulier, par quelles modifications de la pente ou de la section ils pourront compenser l'influence des siphons.

Il y a encore une autre observation bien essentielle à faire; c'est que si la résistance des voûtes est très-grande pour supporter une pression extérieure, elle est généralement faible contre une poussée intérieure; et c'est le cas des siphons. Il est vrai que souvent la charge qu'ils supportent est très-considérable, et fait plus que compensation à la poussée verticale ou latérale exercée dans l'intérieur de ces ouvrages d'art. Mais cela n'a pas toujours lieu ainsi, et alors on ne doit pas hésiter de recourir à un système de liens ou armatures en fer, comme cela a été fait pour plusieurs des siphons

traversant le canal de Pavie, notamment dans celui qui est représenté planche XXIII, fig. 1.

Les ouvrages d'art de cette espèce sont, plus encore que les ponts-canaux, exposés à de graves avaries. On doit donc n'y employer que les meilleurs matériaux, les meilleurs ciments, et ne rien épargner pour que la mise en œuvre en soit aussi parfaite que possible.

Les simples aqueducs ayant pour objet de faire passer une conduite d'eau sous le remblai d'une route ou d'un canal, sont toujours d'une longueur restreinte. Il n'en est pas de même des ponts-aqueducs ou ponts-canaux, qui, tout en n'étant établis que pour le service d'une médiocre, ou même d'une petite dérivation, sont souvent assujettis, par l'obligation de traverser une grande rivière ou un vallon, à atteindre de très-grandes dimensions, entraînant des dépenses proportionnées. Ces ouvrages sont donc principalement ceux dont les dépenses doivent avoir été prises en ligne de compte, dans les avant-projets, ainsi que dans les mémoires où l'on développe les avantages d'un canal projeté.

Les constructions de cette espèce ont besoin d'être établies avec d'excellents matériaux, et avec les plus grands soins; car, dans le cas général, celui où ils franchissent une rivière, ils ont à la fois leur base et leur sommet exposés à l'action de l'eau courante. L'existence de la masse liquide, souvent considérable, qu'ils supportent, augmente dans une

très-grande proportion, sur les voûtes et les pieds-droits, les efforts de pression, qui agissent dans les ponts ordinaires.

Il existe sur les canaux royaux et particuliers du nord de l'Italie un assez grand nombre de ponts-aqueducs et de ponts-canaux, dont plusieurs sont des ouvrages importants. Ceux qui sont représentés planches XIX et XX, peuvent donner une idée du genre de construction qui est généralement adopté dans ce pays.

Écluses. — Les écluses des canaux de navigation et d'arrosage sont caractérisées par le double passage qui y est indispensable, 1° pour le service des bateaux; 2° pour le service de l'irrigation. Le premier est un sas d'écluse ordinaire, dont on établit, dans le système le plus convenable, les dimensions en longueur et en largeur, la chute, etc. En un mot, il n'y a, pour cette partie de l'écluse, aucune sujétion qui soit relative à l'arrosage. Au contraire, le deuxième passage, ou le pertuis, n'a d'autre usage que de transmettre régulièrement, aux biefs inférieurs, les volumes d'eau nécessaire à la distribution qui se fait par les régulateurs. Ce service est confié exclusivement aux eygadiers, et s'opère au moyen des vannes placées en tête de ces pertuis.

Comme il existe toujours en ce point une chute considérable, et que, du moins dans les parties supérieures et moyennes du canal, le volume d'eau à transmettre constitue un courant continu, il est

d'usage d'y placer des usines. Quand même d'ailleurs le courant ne serait pas continu, ce ne serait point pour celles-ci un motif d'exclusion, puisque plusieurs de celles qui concernent les arts agricoles supportent, sans inconvénient, des interruptions de travail; telles sont les machines à battre les graines, les pilons à blanchir le riz, etc. Les moulins eux-mêmes ne doivent pas éprouver, par cette raison, d'autre inconvénient que celui qui est attaché à l'interruption momentanée du travail. En un mot, les usines étant toujours avantageuses dans cette situation, où elles profitent de l'eau, sur une chute existante, et sans en consommer aucune partie, sont un accessoire important, que l'on ne doit pas négliger de comprendre dans les projets de canaux.

La figure 6 de la planche XXIV, et toutes les figures de la planche XXV donnent, en plan, coupes et élévation, les dispositions d'une écluse dans ce système. Elle est prise sur le canal de Pavie, dont les ouvrages d'art sont remarquables par leur bonne exécution.

On voit par ces figures que l'on profite de l'existence du pertuis de transmission, dans lequel l'eau n'est jamais qu'à peu près au niveau du bief inférieur, pour faciliter l'écoulement de celle du sas rempli, au moyen de buses ou aqueducs, qui sont en nombre variable, depuis deux (pl. XXIV, fig. 6) jusqu'à cinq (pl. XXV, fig. 2 et 3). Par leur moyen, le vidage

des sas de la plus grande dimension, dans les écluses de ce système, s'opère dans un temps extrêmement court, relativement aux écluses ordinaires, qui n'ont que la ressource des vantelles. Dans les ouvrages de ce genre que j'ai visités en Italie, je n'ai jamais vu ce même système adapté également au remplissage du sas, au moyen de buses ou aqueducs communiquant avec le bief supérieur. Quant à ceux d'aval, qui débouchent dans le pertuis, qu'ils soient biais ou d'équerre, on doit toujours avoir soin d'établir, soit pour le radier, soit pour les bajoyers, des maçonneries très-solides, pouvant résister au choc et à l'agitation considérable de l'eau qui en sort.

Sur les canaux du Milanais, les vantelles ont une construction qui rend leur manœuvre des plus expéditives; mobiles, sur un axe vertical, partageant leur surface en deux portions un peu inégales, un très-léger effort de traction suffit pour les ouvrir instantanément, c'est-à-dire pour les placer d'équerre sur le plan de la porte, où les feuillures sont pratiquées, moitié en amont, moitié en aval. L'éclusier ou eygadier se sert pour ouvrir et fermer ces vantelles d'une simple gaffe, semblable à celle des bateliers; et il n'emploie pas d'autre instrument pour la manœuvre des portes elles-mêmes. Ainsi qu'on le voit (pl. XXIV, fig. 9), elles n'ont pas de balancier; pour les ouvrir, l'éclusier les tire avec une simple chaîne qui y est fixée; pour les fermer, il les repousse avec la gaffe. Cela se fait ainsi d'une

manière extrêmement simple, que l'on doit regarder comme préférable au système des engrenages, auxquels on a recours ordinairement pour la manœuvre des portes d'écluse dans lesquelles on supprime les balanciers.

Les ferrements des portes busquées des canaux du nord de l'Italie étaient anciennement établis d'après le système imparfait qui est représenté pl. XXIV, fig. 8. Actuellement on établit toujours ces ferrements dans le système de la figure 7; et c'est celui qui est en usage sur la presque totalité des canaux de l'Europe.

On peut remarquer dans la coupe de l'écluse représentée pl. XXV, fig. 1, un système de poutrelles horizontales formant une espèce d'estacade, à quelque distance en avant du mur de chute. Cette disposition, qui a été fort en usage sur les canaux du Milanais, n'y est plus guère observée aujourd'hui. Elle a pour but d'empêcher les bateaux montants de s'approcher jusqu'au pied de la chute, car le remous les attire naturellement vers cette position, de sorte que, par défaut de surveillance, il est arrivé que plusieurs ont été remplis d'eau, et submergés, par celle que lancent les vantelles des portes d'amont. Il faut, quand on veut employer ce moyen, que la longueur du sas soit calculée d'après celle des bateaux, indépendamment de l'espace supplémentaire compris entre cette estacade et le mur de chute.

On voit, tome Ier, page 364, par le tableau des écluses du canal de Pavie, que sept ont une chute uniforme de 3 mètres, tandis que les cinq autres en ont de variables, depuis 1m,70 jusqu'à 4m,80. J'ai déjà fait remarquer que l'inconvénient des chutes inégales, qui est très-réel sur les canaux de seule navigation, est moins grand avec l'emploi des écluses des canaux qui ont aussi l'irrigation pour objet; car le pertuis, indépendamment de la manœuvre des portes, permet toujours de rétablir la répartition régulière des eaux, qui aurait été momentanément interrompue.

Ouvrages divers ; observations. — Il existe sur les canaux d'arrosage du nord de l'Italie quelques ouvrages spéciaux qui ne rentrent dans aucune des douze classes que je viens d'examiner. On voit, par exemple, dans la planche XVI, fig. 1 et 2, le plan et l'élévation d'une construction en maçonnerie, assez considérable, établie à l'endroit où le canal de Cigliano, dans la province d'Ivrée, en Piémont, tombe dans le torrent de l'Elvo, en formant une chute d'environ six mètres. Les murs en aile qui étaient autrefois établis dans une situation défectueuse, suivant les lignes *a c*, ont dû être récemment reconstruits suivant la direction *a b*.

On pourrait mentionner aussi, parmi les ouvrages divers qui sont un utile accessoire des canaux, les parapets en pierre dure, tels que ceux dont j'ai

donné la description en parlant des dérivations qui aboutissent dans la ville de Milan. Ces parapets en granit, qui sont d'un bel effet, sans être coûteux, sont d'une incontestable utilité, dans les villes populeuses, pour éviter les accidents. On pourrait se demander à ce sujet, si à Paris nous ne pensons pas au confortable avant d'avoir pourvu au nécessaire, en employant journellement, en faveur de la circulation des piétons, de grandes et belles dalles, pour former ou border de nouveaux trottoirs, tandis qu'on laisse sans parapets les bords du canal Saint-Martin, qui, par cette raison, occasionne à lui seul presque autant d'accidents graves qu'il en arrive sur toutes les voies publiques de la capitale.

Il est certaines observations communes aux divers ouvrages d'art détaillés dans ce chapitre. Quant à leur mode de construction, la pierre de taille et surtout le moellon de bonne qualité étant très-rares dans le nord de l'Italie, le corps des ouvrages d'art est généralement en maçonnerie de briques. Toutes les coupes qui, dans les dessins ci-joints, ne sont désignées que par des hachures, indiquent des maçonneries de cette espèce. Les têtes des angles et les parements principaux sont généralement revêtus en pierre de taille, que l'on reconnaît à la hauteur des assises et à son appareil. Souvent quand on a besoin d'avoir des parements très-résistants, on continue d'employer la brique

pour le massif des ouvrages, et ces parements sont revêtus de dalles en granit, cramponnées on gougeonnées. Cela se fait généralement dans l'intérieur des modules, dans les siphons, etc.

L'emploi du bois pour les petites conduites d'eau est encore adopté, même sur les canaux modernes. On en voit des exemples dans les planches XIII et XXI. Cependant, vu le peu de durée de ces ouvrages, je crois qu'on finira par y renoncer tout à fait, à mesure que l'usage des dalles et des ciments hydrauliques se popularisera davantage.

Sur les différentes figures de l'atlas ci-joint on a indiqué par des pointillés les portions d'ouvrages dans lesquelles on emploie, convenablement débitées, des dalles de granit ou de schiste micacé, qui s'exploitent sur une grande échelle dans les montagnes voisines de Milan. Indépendamment des parapets le long des canaux, elles servent principalement encore à faire des jouées, chapeaux et potilles pour les empèlements, des revêtements, bouches régulatrices, etc.

Une dernière remarque me reste à faire sur les ouvrages d'art des canaux d'Italie; c'est que, soit par la rencontre naturelle de plusieurs lignes sur un même point, soit par le désir d'obtenir une certaine économie dans les épuisements et les fondations, ouvrages particulièrement coûteux dans ce pays, on voit souvent groupés ensemble des

ouvrages de nature différente; tantôt c'est un module traversé par une conduite particulière, comme cela a lieu planche XIII, figures 1 et 2, tantôt ce sont des ponts et des aqueducs de différentes formes, comme l'indiquent plusieurs figures des planches XVII, XXI, XXIII et XXIV.

L'existence de beaucoup d'ouvrages multiples de cette espèce est un indice infaillible de richesse et d'industrie, dans la contrée où ils se rencontrent. Car c'est la preuve que l'irrigation y a atteint un très-grand développement; et on chercherait vainement un pays qui soit resté pauvre, quand cette condition y a été remplie.

CHAPITRE VINGT-CINQUIÈME.

DE L'EMPLOI SPÉCIAL DES EAUX DE SOURCE POUR L'IRRIGATION.

§ I. *Observations préliminaires.*

L'industrie artésienne, qui a déjà acquis une importance réelle, d'après les services qu'elle rend aux manufactures, prend un intérêt plus sérieux encore lorsque l'on considère que c'est l'agriculture qui doit un jour profiter le plus largement des ressources qu'elle présente. En effet, l'application des eaux souterraines aux usages de l'industrie se trouve circonscrite dans un rayon assez restreint autour des centres de population. Loin des lieux habités, la création d'une nouvelle usine n'offrirait pas généralement d'avantages, eût-elle même la force motrice pour rien. L'irrigation, au contraire, est toujours prête à utiliser partout les ressources nouvelles que l'on pourra se procurer.

Les manufactures réclament les eaux de cette espèce, principalement jaillissantes et pouvant donner immédiatement de fortes chutes, tandis que, pour l'amélioration agricole, on trouvera un emploi productif aux eaux de sources artificielles, amenées même à un niveau inférieur à celui du

terrain où l'on a creusé ; car, à la faveur des pentes naturelles du sol, on conduira toujours ces eaux, par une dérivation plus ou moins directe, sur les terrains qui se trouvent à un niveau convenable pour en pouvoir profiter. Le grand point est d'en obtenir qui soient abondantes et dont le volume se maintienne pendant la saison d'été, la seule pendant laquelle l'eau est véritablement précieuse pour l'irrigation proprement dite.

Il est donc hors de doute que l'arrosage effectué au moyen des eaux de sources, naturelles ou artificielles, peut rendre de très-grands services à l'agriculture. Leur utilité se manifeste soit dans les positions élevées, où l'on ne pourrait aisément conduire des dérivations, soit dans les positions ordinaires, où cette ressource s'ajoute, comme un supplément quelquefois très-important, à celles qu'on s'est déjà procurées au moyen des eaux courantes ordinaires. Si l'on se demande quelles sont les contrées assez favorisées pour jouir, à la fois, de ce double avantage, c'est encore la Lombardie, et le Milanais en particulier, que l'on trouve à citer en première ligne ; tant ce pays semble avoir été prédestiné à tirer la plus grande partie de sa richesse de l'immense développement qu'on y donne aux emplois utiles de l'eau.

Il est vrai que, pour les conquêtes de ce genre, la présence des avantages obtenus et réalisés, dans les pays de grande irrigation, est un stimulant bien

plus puissant que le simple espoir des mêmes avantages, à obtenir dans les pays qui n'en jouissent pas encore. C'est ce qui explique comment les travaux spéciaux ayant pour objet l'aménagement des eaux de source sont venus se grouper autour du principal centre des travaux de l'irrigation par les rivières. Là on connaissait au plus juste la valeur de l'eau, les ressources qu'elle offrait, et dès lors on n'a pas regardé à faire des avances pour des recherches qui ont été presque toujours couronnées d'un plein succès.

Ce n'est pas un petit avantage que de se procurer, à peu de frais, de pareilles eaux, dans les lieux où elles se présentent avec abondance, et où leur emploi est aussi avantageux qu'il l'est dans le Milanais. Comme il est admis dans toutes les législations que le propriétaire du sol est également propriétaire des sources qui y naissent, soit naturellement, soit artificiellement, c'est le prix des eaux concédées à perpétuité dans le pays, qu'on doit prendre pour terme de comparaison de la valeur des sources que l'on a pu se procurer, soit par des recherches spéciales, soit par le creusement d'un canal de dérivation.

Or le prix courant des eaux de cette espèce, établi par la concurrence, sur les bases des minima fournis par les tarifs du gouvernement de la Lombardie, est 12.000 francs l'once, prix très-modéré, ainsi que le démontrent les développements donnés

à ce sujet dans un des chapitres du livre suivant; et d'un autre côté, obtenir huit à dix onces d'eau, par des travaux particuliers exécutés sur les terres d'un seul propriétaire, est une chose qui se voit tous les jours dans le Milanais. C'est donc, dès lors, un capital de cent à cent vingt mille francs que l'on peut créer ainsi sur sa propriété, avec un sacrifice minime, consacré aux travaux de recherche ou de conduite des eaux de source; et souvent même sans avoir besoin de recourir à des travaux spéciaux.

Je ne raisonne nullement sur une hypothèse; et les personnes qui ne connaissent pas le Milanais pourraient seules soupçonner ici de l'exagération; car, sur cent canaux particuliers, pris au hasard dans le grand nombre de ceux qui sillonnent cet heureux et riche pays, on en trouverait difficilement dix qui ne tirent pas de l'emploi gratuit des eaux de cette nature une ressource supplémentaire équivalente au cinquième, au quart ou au tiers de leur dotation principale, acquise à titre onéreux, dans les canaux du gouvernement. Il y en a pour lesquels cette proportion atteint et dépasse la moitié. Ainsi, le canal de la famille Taverna, qui a maintenant 24 kilomètres et demi de longueur, et qui dérive du Naviglio Martesana sur le territoire de Milan, dans la commune de Gorla, avait, dans son ancien état, 5 onces d'eau de source, et à peu près autant d'eau dérivée. Depuis son rétablissement sur une plus grande échelle, il dérive 10 on-

ces, mais en même temps il utilise un volume à peu près égal d'eau de sources obtenue dans l'exécution des nouveaux déblais : cela porte son débit total à 20 onces, ou à près d'un mètre cube par seconde. Le Cavo Calvi, petit canal de 12 kilomètres de longueur, qui dérive du Naviglio-Grande, est dans le même cas; sa portée totale de 8 onces se compose de 4 onces d'eau de sources et de 4 onces d'eau dérivée. Enfin, on pourrait citer les canaux des familles Litta, Cattaneo, Barinetti, Visconti, Borromeo, Melzi, Belgiojozo, Bolognini, et beaucoup d'autres qui tirent également un grand parti des eaux de sources.

D'après cela je pense que personne ne trouvera superflu que je sois entré ici dans d'assez grands détails sur les moyens que l'on emploie pour rendre disponibles et pour utiliser les eaux de sources, au point de vue des arrosages.

De la recherche des sources. — On avait accrédité, dans le courant du XVIIe siècle, de vraies fables sur la manière de découvrir les sources. Rien de ce qui touche à cet objet ne pouvait être accueilli avec indifférence, dans l'Italie septentrionale; aussi, ces moyens, tout chimériques qu'ils étaient, ont eu longtemps beaucoup de faveur dans cette contrée; et l'on s'y occupa très-sérieusement des propriétés de la baguette divinatoire, ainsi que d'autres inventions non moins puériles, dont on peut voir une description complète dans divers écrits

du temps et notamment dans l'*Électrométrie animale* du chevalier Amoretti.

Ceci était l'œuvre du charlatanisme, qui a toujours su recourir aux déguisements profitables à ses intérêts. Mais en dehors de ces préjugés, il est cependant vrai qu'il existe, pour des observateurs exercés, certains indices propres à faire reconnaître l'existence d'une source, là où rien ne semblerait pouvoir mettre sur sa trace. Voici quelques-unes de ces indications :

1° Au printemps, des places où l'herbe se montre d'un vert plus vif, dans la nuance générale d'une prairie; ou bien la couleur plus foncée de la surface du sol, s'il s'agit d'un terrain labouré.

2° Pendant l'été, des moucherons voltigeant en colonne et se tenant dans un même endroit à peu de distance au-dessus du sol.

3° En toute saison, des vapeurs sensibles s'élevant le matin et le soir au-dessus des places dans lesquelles la proximité de l'eau suffit pour augmenter l'humidité naturelle de la surface du sol.

C'est pour cela que les fontainiers-experts (profession qui existe encore en Italie) se rendent, dès la pointe du jour, sur les lieux où on leur demande une recherche de sources; puis, en se couchant sur la terre, ils regardent avec attention dans la direction du soleil levant, pour tâcher de découvrir s'il est, dans le voisinage, des points d'où il s'élève des

vapeurs plus sensibles que cela n'a lieu sur le reste de l'horizon.

Comme les sources que l'on est dans le cas de rechercher n'existent jamais qu'à une certaine profondeur au-dessous de la surface du sol, les divers indices dont il vient d'être question sont bien souvent insuffisants, et le seul qui soit véritablement efficace est le sondage; mais pour choisir convenablement les lieux où ces sondages peuvent être faits avec quelque chance de succès, il faut des connaissances géologiques, qui ne sont point à la portée de tout le monde et qui ne sont même pas assez répandues parmi les ingénieurs. Il existe néanmoins quelques indices particuliers, consacrés par l'expérience et pouvant servir à connaître, dès le commencement d'une opération de sondage, si l'on a des chances favorables pour rencontrer des eaux de source.

Ainsi, c'est une observation constante, dans la Lombardie, et je crois même dans tout le nord de l'Italie, que partout où l'on rencontre, en creusant au-dessous de la couche végétale, un banc naturel de gravier ou de sable quartzeux blanc, et fin, c'est un signe assuré qu'après avoir percé ce banc on trouvera, au-dessous, une nappe d'eau, qui s'élèvera, par le forage, de manière à couler à un niveau plus élevé que sa couche supérieure.

On a eu recours à des moyens plus ou moins détournés, pour expliquer le jaillissement de l'eau

dans les puits forés ; mais l'explication la plus satisfaisante est celle que l'on a donnée la première; car il est hors de doute qu'il s'agit d'obtenir un siphon renversé, dont la branche la plus courte est l'ouvrage du sondeur, mais dont la branche la plus longue est celui de la nature.

En Italie comme en France, il est des localités dans lesquelles il suffit de percer le sol à une certaine profondeur pour obtenir des eaux jaillissantes. Cela a lieu sur une partie du territoire situé au pied du revers septentrional de l'Apennin (*voir* la Carte générale, planche II.); par exemple, dans les environs de Modène et dans un rayon de dix ou douze kilomètres de cette ville. Du moment qu'on y perce un certain banc, qui n'a que 20 à 21 mètres de profondeur, au-dessous du niveau de la campagne, on obtient constamment une eau jaillissante, qui, dans le premier moment de son irruption, entraîne avec elle du sable, des cailloux, des fragments de bois calcinés et autres matières; puis elle s'éclaircit et coule ensuite assez régulièrement. On a remarqué, 1° que les eaux de la plaine de Modène jaillissent toutes exactement à la même hauteur; 2° que l'ouverture d'un nouveau forage dans une localité où il en existe déjà amène d'abord un certain ralentissement dans la régularité du débit des fontaines voisines; mais qu'au bout de quelque temps, celles-ci reprennent leur cours accoutumé. Cela ne peut guère s'expliquer que par l'existence d'une nappe

d'eau souterraine, alimentée par un ou plusieurs bassins d'un niveau supérieur. Ces bassins pourraient être ou des réservoirs situés dans les vallées de l'Apennin, ou les eaux mêmes du cours supérieur de la Secchia et du Panaro qui coulent dans le voisinage.

Dans les cas semblables on sait toujours à quelle profondeur on devra creuser pour trouver l'eau; et quant à son volume, il est à peu près proportionnel au diamètre des orifices. Mais ces considérations s'appliquent entièrement à l'industrie des puits forés proprement dits; et ainsi que je l'ai déjà remarqué, les eaux jaillissantes qu'ils procurent, généralement à grands frais, sont beaucoup plus intéressantes pour l'industrie manufacturière que pour l'industrie agricole, qui utilise l'eau au moyen de simples dérivations et non au moyen de chutes.

Procédés employés pour canaliser les eaux de sources. — Je me bornerai donc à indiquer ici le détail des moyens qu'on emploie pour utiliser, non pas des eaux jaillissantes, mais des eaux de sources, capables seulement de couler, soit à la surface du sol naturel, soit même à un niveau un peu inférieur. Il importe surtout de connaître ce qui se pratique à cet égard, depuis une époque très-ancienne, dans le Milanais; car ce territoire, formé de ceux des trois provinces de Milan, Pavie et Lodi, se trouve peut-être, sous le rapport des eaux souterraines, dans des conditions plus remarquables encore

que sous le rapport des eaux courantes ordinaires, dont tout le monde sait qu'il est si admirablement doté.

Les grands déblais exécutés dès les XIIe et XIIIe siècles, pour l'ouverture des plus anciens canaux du pays et pour celle de leurs nombreuses ramifications, firent bientôt constater ce fait. Dès lors la possibilité de recueillir ces sources abondantes et nombreuses, et de les employer à la fertilisation du sol devint un nouveau stimulant pour l'agriculture, en créant un supplément très-important aux ressources, déjà si grandes, que les canaux du pays offraient à l'irrigation.

C'est un résultat fort important que de pouvoir ainsi recueillir, et employer en arrosages, des eaux de sources, qui se présentent souvent dans les lieux où l'on n'aurait pas pu conduire, par simple dérivation, celles des rivières et canaux. Or le sol du Milanais, et, à un degré moins marqué, celui des autres provinces de la Haute-Italie, présentent constamment, entre la terre végétale et les bancs imperméables de roche ou d'argile, des couches, plus ou moins épaisses, de graviers, cailloux et galets. Il résulte de là qu'en creusant, en un point quelconque de la plaine, dans ces bancs de grève, sans même les percer entièrement, on obtient presque toujours de l'eau. Elle s'élève, il est vrai, dans les fouilles à des hauteurs variables, suivant la position plus ou moins déprimée du point où l'on opère, relativement aux

grands réservoirs qui alimentent les nappes d'eau ou conduites souterraines, auxquelles on fait, par le forage, de véritables saignées. Mais à la faveur de la pente régulière et constante que présente le territoire compris entre le pied des Alpes et le cours du Pô, on peut toujours, au moyen de simples rigoles, en déblai, conduire, sur des terrains d'un niveau convenable, ces eaux, qui sont assez précieuses pour dédommager des frais de l'opération, lors même que la distance est grande et les tranchées profondes.

Voici de quelle manière on procède, dans le Milanais, pour mettre à découvert et pour utiliser les sources dont on a reconnu l'existence sur un point déterminé. On commence par creuser un simple puits, jusqu'à la profondeur nécessaire pour mettre distinctement en évidence les jets des différentes sources, qui se manifestent généralement à un même niveau.

Dans les plaines milanaises, sur les territoires éminemment irrigables de Milan, Pavie et Lodi, cette profondeur ne dépasse guère $1^m,50$ à 2^m; de sorte que l'eau s'y obtient à très-peu de frais. On élargit l'excavation à mesure que l'on découvre de nouvelles sources, et l'on se procure ainsi un bassin, que l'on nomme dans le pays Tête de fontaine. Sa forme n'est soumise à aucune règle, et peut varier à l'infini, attendu qu'elle doit se prêter à recevoir un nombre illimité de sources distinctes,

qui peuvent être distribuées d'une manière très-irrégulière (*Voyez* figures 3 et 8, planche XXVI).

Il pourrait arriver que, malgré les indices favorables qui l'auraient déterminée, une recherche de ce genre ne dût pas aboutir à un résultat satisfaisant; alors cela doit se reconnaître, d'après la constitution du sol, à un certain degré d'avancement de la fouille, au delà duquel il serait inutile de creuser. La science et l'expérience donnent pour cela des règles applicables à telle ou telle localité.

On doit remarquer aussi qu'à mesure que l'on est obligé de s'enfoncer davantage, pour rencontrer les sources cherchées, on perd de plus en plus la chance de pouvoir les utiliser pour l'arrosage des terrains situés à proximité; car il faut toujours ménager encore une certaine pente pour faire arriver les eaux sur le lieu où elles peuvent se répandre à la surface du sol. Il y a donc dans cette recherche un point auquel il est nécessaire de s'arrêter, si l'on ne veut pas faire une opération dispendieuse et sans profit.

Quand, par la découverte de plusieurs sources, on a formé une tête de fontaine, d'une capacité plus ou moins grande, ces sources que, dans ce cas, on nomme, en Lombardie, Yeux de fontaines, étant ainsi mises à nu, par des déblais, sont exposées à s'obstruer promptement, soit par l'éboulement des terres de la fouille, soit par la chute de divers corps étrangers, dans le bassin, soit enfin par les matières

que l'eau jaillissante charrie assez fréquemment. Il importe dès lors à la conservation des ouvrages que l'on pourvoie à cet inconvénient.

Le moyen que l'on emploie consiste à placer, sur chaque source, une tinelle (*tina* ou *tinella*), espèce de tonneau de forme cylindrique, ou légèrement conique, en bois d'aune ou de chêne, représenté fig. 5. On enfonce ces tinelles dans la terre, de manière à bien encaisser les sources, et de sorte que leur bord supérieur dépasse un peu la surface de l'eau, dans le bassin (fig. 4). Leur hauteur est variable, suivant celle du niveau que l'on juge devoir maintenir dans ce bassin; leur épaisseur varie de $0^m,03$ à $0^m,05$; elles sont reliées par trois cercles de fer, et mieux par quatre. Leur prix, en bois d'aune de première qualité, varie de 12 à 15 francs. Quand elles sont exposées à l'action de l'air, leur durée n'est que de 10 à 12 ans. Cette durée est au contraire presque illimitée si elles restent toujours plongées sous l'eau.

On pratique dans le bord supérieur des tinelles (fig. 4 et 6) une échancrure, proportionnée au débit de chaque source; et enfin, si on le juge nécessaire, on les recouvre entièrement, comme cela est représenté fig. 4. Néanmoins je ne pense pas que cet usage soit généralement suivi; car dans la plupart des têtes de fontaine, que l'on rencontre en si grand nombre dans les provinces de Milan, Pavie et Lodi, les tinelles sont découvertes.

La fouille qui doit former une tête de fontaine est poussée ordinairement jusqu'à $0^m,30$ au moins en contrebas du niveau où les sources jaillissent distinctement. Quant aux talus, leur inclinaison dépend de la nature des terres ; mais en général il vaut mieux les faire inclinés que rapides ; afin de se mettre à l'abri des éboulements qui peuvent obstruer des sources, et qui, dans tous les cas, donnent lieu à une augmentation de dépense dans les curages fréquents auxquels ces sortes de bassins sont toujours soumis. Si les terres sont trop mouvantes, comme cela a lieu quand les fouilles sont faites dans des bancs de sable ou de gravier, alors on a recours à un clayonnage ou à uu revêtement en pieux et palplanches moisés, comme cela est indiqué fig. 3 et 4, sur la rive droite de la principale tête de fontaine, représentée dans la planche XXVI. Le nombre, la grosseur, et le plus ou moins de fiche, de ces pieux, sont déterminés en raison de la poussée des terres qu'ils ont à supporter, et d'après la nature du fond.

Il arrive souvent dans les recherches de ce genre qu'une fouille se remplit d'eau, au fur et à mesure qu'on l'approfondit, sans que l'on puisse indiquer l'endroit particulier où naissent les sources qui alimentent ce bassin. Il est alors très-difficile de savoir où placer les tinelles, et l'on a éprouvé que, sans cette précaution, le produit ne peut être regardé comme assuré, attendu qu'il arrive tôt ou tard des

intermittences, ou même des interruptions complètes dans le débit des sources non encaissées, qui se trouvent ainsi placées au fond d'un bassin plus ou moins profond. Dans ce cas, l'expérience seule a indiqué, pour les découvrir, un moyen des plus simples et pourtant infaillible. Il consiste à laisser entièrement en repos, pendant quelques mois d'été, le bassin nouvellement découvert; et les endroits où existent les sources s'y trouvent alors naturellement indiqués par la présence du cresson de fontaine qui ne manque jamais d'y croître, de préférence à toute autre place.

L'action de la source sur les parois plus ou moins molles du conduit souterrain par lequel elle coule, entraîne toujours avec elle des particules terreuses qui se déposent naturellement dans le premier récipient qu'elles rencontrent; et ce récipient est la tinelle elle-même. L'expérience prouve en effet qu'il faut assez souvent recourir à un véritable curage dans l'intérieur de ces tinelles, où l'on rencontre de la vase en plus grande quantité que dans le reste du bassin environnant. Quelquefois aussi il arrive que cette vase liquide, retombant d'elle-même dans les parties les plus basses, finit par engorger les veines de la source, qui devient tout à fait improductive. Le seul parti à prendre, dans ce cas, consiste à tâcher de la faire reparaître, au moyen d'une sonde, introduite dans son ancien emplacement, et si l'on ne réussit pas on n'a plus qu'à enlever la tinelle,

devenue inutile, pour la réemployer dans un autre endroit.

Quand on a terminé les déblais d'une tête de fontaine, et que l'on est fixé, au moins par approximation, sur le produit des sources qui doivent définitivement en faire partie, on procède à l'ouverture de la rigole de dérivation. Elle est désignée spécialement, en Lombardie, sous le nom de *Asta di fontana*; ce qui est à peu près équivalent de Queue de fontaine. Mais il n'y a pas de nécessité à adopter ici une dénomination particulière, puisque cette dérivation, petite ou grande, n'est qu'une rigole ordinaire, ou plutôt, elle est le canal d'amenée qui doit généralement traverser, en déblai, une certaine étendue de terrain, avant d'arriver à celui sur lequel les eaux de source peuvent être répandues, pour l'arrosage.

Par conséquent, en ce qui touche la détermination des pentes et de la section de cette rigole, on doit se reporter au chapitre qui traite exclusivement de cet objet.

On n'a quelquefois qu'une seule source, d'un produit minime, mais néanmoins d'une utilité très-grande, si elle peut être conduite à une certaine distance. Quand en même temps le terrain, où serait ouvert la rigole d'amenée, est assez perméable pour faire craindre une trop grande déperdition du volume d'eau, on emploie de petites conduites en bois, en terre, ou en métal, ayant la forme d'un

demi-tuyau, ainsi que le représente la figure 2 de la planche XXVI. Les eaux souterraines ont, en matière d'irrigation, des avantages particuliers, dont j'aurai occasion de parler dans un autre endroit de cet ouvrage. Ils sont presque toujours assez notables pour couvrir avec profit de petites dépenses accessoires du genre de celle dont il vient d'être question.

En résumé les eaux de source, naturelles ou artificielles, ont un très-grand intérêt pour l'art des arrosages; d'abord, comme fournissant souvent, aux dérivations ordinaires, ainsi qu'on vient de le voir, une ressource supplémentaire, qui pourra devenir de plus en plus importante; mais surtout en mettant cette industrie vitale à la portée des plus petits propriétaires, qui peuvent l'exercer d'une manière profitable, pour eux et pour le pays, sans avoir à passer par les lenteurs et les formalités auxquelles il faut s'attendre lorsqu'on veut faire fonctionner des associations.

Quant aux fontaines artésiennes proprement dites, encore bien, comme je le démontre dans un des chapitres suivants, que l'eau qu'elles fournissent soit généralement obtenue à un prix plus élevé qu'il ne convient pour l'employer en irrigations, il est néanmoins certain que ces eaux ont aussi leur intérêt au point de vue agricole, surtout à notre époque, puisqu'il est hors de doute que la sonde est destinée à devenir, d'ici à peu de temps, un instrument d'une grande puissance.

LIVRE SIXIÈME.

PRINCIPES GÉNÉRAUX

DE LA PRATIQUE

DES IRRIGATIONS.

Digitized by Google

Digitized by Google

CHAPITRE VINGT-SIXIÈME.

PRINCIPES GÉNÉRAUX. — INFLUENCE DE L'EAU SUR LA VÉGÉTATION.

§ I. *Considérations préliminaires* (1).

Penser, souffrir et se mouvoir, paraissent être les seules conditions négatives qui établissent une infériorité essentielle dans l'organisation des plantes, relativement à celle des animaux. Mais, à cela près, il existe encore de grandes analogies entre la végétation et les fonctions vitales proprement dites. Dans la plante, a dit Chaptal, les forces d'affinité qui appartiennent à la matière sont toutes modifiées par le concours de lois spéciales. En effet, choix des aliments, absorption, digestion, assimilation, système de vaisseaux, circulation propre, organes reproducteurs, etc., tout concourt à établir qu'il y a chez elle organisation et vie.

(1) C'est avec regret que je me suis vu dans la nécessité de restreindre à des principes généraux, et aux considérations les plus indispensables, la matière de ce livre VI. J'avais toujours pensé lui donner plus d'étendue. Je me plaisais même à l'idée que je pourrais le présenter avec les développements désirables. Élevé à la campagne, initié dès l'enfance à tous les détails de l'économie rurale, propriétaire de terrains arrosés, les pratiques agricoles se rattachant

Dans le régime animal, la vitalité est plus parfaite, les fonctions plus nombreuses, et plus indépendantes des causes purement physiques. Dans les végétaux les fonctions analogues dérivent aussi d'une organisation particulière. Sans doute elle est passive des agents externes, mais elle-même les modifie.

Après la vie, la végétation est donc sans contredit ce qu'il y a de plus important à étudier dans le monde matériel; tout remonte à elle, et tout vient s'y rattacher; car sans les plantes, nul être vivant ne pourrait exister. La viande n'est un aliment aussi éminemment substantiel que parce qu'elle est le produit d'une première assimilation de la matière végétale, consommée par les espèces herbivores,

au sujet que je traite, ne me sont pas moins familières que les opérations relatives à l'art de l'ingénieur.

Mais les matériaux que j'ai recueillis sur la pratique de l'irrigation, ainsi que sur les résultats qu'on doit en attendre, étant considérables, il eût fallu, pour les employer ici, accroître encore l'étendue de cet ouvrage, dont le plan primitif a déjà subi une assez grande extension.

J'ai donc dû me borner à ne présenter dans les deux premiers chapitres du livre VI que des considérations générales. Mais, indépendamment de ce que la connaissance des principes est toujours la meilleure base à donner à une étude quelconque, on remarquera facilement que ces considérations aboutissent toutes à des conséquences pratiques, et conduisent de la manière la plus directe aux meilleurs préceptes à observer pour le succès des arrosages. Il est d'ailleurs suppléé utilement à une grande partie des détails spéciaux que je ne puis donner dans ce volume, par les notes du livre VI, placées à la fin de l'ouvrage, et concernant principalement : 1° les assolements les plus remarquables obtenus par l'irrigation; 2° la culture du riz, dans le nord de l'Italie; 3° celle des *Marcite* du Milanais.

qui sont devenues la base de la nourriture des nations civilisées.

L'homme consomme simultanément de la viande et des végétaux. Dans les classes riches le rapport de ces deux régimes n'est réglé que par le choix, le caprice, ou la sensualité. Dans les classes pauvres, il n'en est plus de même, car le prix généralement élevé de la bonne viande fait que la majeure partie des habitants des campagnes s'en passent à peu près toute l'année.

Ainsi donc, augmenter la production des plantes utiles, formant la base des fourrages, c'est travailler à la fois à l'amélioration du sort des classes laborieuses et à l'accroissement de la richesse publique.

L'eau, l'air, la chaleur et la lumière sont les causes nécessaires de toute végétation. L'eau surtout paraît en être la condition la plus essentielle; car, pour peu qu'elle soit imprégnée d'oxygène, les plantes, mises en communication avec elle, peuvent se passer du contact de l'air. Quant à la chaleur, on conçoit que son degré doit varier, à cet égard, entre des limites fort éloignées; vu l'immense quantité de végétaux différents, que la munificence du Créateur a répartis sur notre planète, depuis les glaces polaires jusqu'à la zone torride. On pourrait objecter à cela que les plantes paraissent être, dans ce sens, à peu près dans le même cas, pour l'eau ou pour la chaleur; car il en est qui ne peuvent vivre que dans un état complet d'immersion, tandis que

d'autres se plaisent dans des sables arides et brûlants, où la présence de l'eau ne paraît pas leur être utile. Mais il ne faudrait pas se fier aux apparences, car telle plante qui paraîtrait pouvoir se passer d'eau en renferme souvent elle-même une grande quantité; pour d'autres, c'est le cas inverse. De sorte que, en y regardant de près, on reconnaît bientôt que, sous une forme ou sous une autre, le concours de l'humidité est toujours indispensable à la végétation.

On doit bien remarquer que les plantes ont la faculté de s'assimiler l'eau, non-seulement à l'état liquide, mais surtout à l'état de vapeur, et comme cette vapeur, surtout dans les climats chauds, existe dans l'atmosphère, en très-grande abondance, à certaines heures du jour et de la nuit, il suffit, pour remplir le vœu de la nature, que les plantes aient une organisation propre à l'absorber.

Comment cela pourrait-il être autrement quand on voit que si l'on coupe, par exemple, une tige d'agavé, d'aloès, et autres de ce genre, ne se plaisant que dans les lieux secs et chauds, non-seulement il en découle un liquide visqueux, mais que si l'on presse fortement une de ces tiges charnues, l'eau en coule comme d'une éponge? Il y a d'autres anomalies non moins bizarres, qui confirment toutes ce rôle capital de l'eau dans la végétation. Ainsi en examinant certains produits éminemment secs et solides, on pourrait penser que, dans leur formation, l'in-

fluence de l'eau ou de l'humidité a dû être, sinon nulle, du moins très-insignifiante. On ne peut pas choisir, de ce cas, un exemple plus marquant que celui du riz, puisque les graines en sont d'une excessive dureté; et cependant c'est là un végétal qui ne peut croître et fructifier qu'autant qu'il aura eu, littéralement parlant, le pied dans l'eau, pendant presque toute la durée de sa croissance.

Cette nécessité indispensable de l'eau pour la formation et l'accroissement des plantes se conçoit et s'explique d'autant mieux, qu'elle leur est nécessaire de deux manières différentes; c'est-à-dire non-seulement à son état naturel, ou comme humidité; mais surtout comme renfermant, par l'hydrogène et l'oxygène, dont elle se compose, dans des proportions connues, deux des principaux éléments constitutifs de la matière végétale. Il y a longtemps qu'on n'a plus de doutes sur la propriété qu'ont les plantes de décomposer l'eau et de s'assimiler ces mêmes éléments, ainsi que les substances qui s'y trouvent accessoirement dissoutes, ou même mélangées. Les transpirations distinctes des feuilles, et autres parties vertes, qui dégagent de l'oxygène pur, sous l'influence de la lumière, et de l'acide carbonique, pendant la nuit, suffiraient seules pour prouver qu'il s'opère dans ces organes, ou pour mieux dire, dans toute la plante, sous l'influence de la force végétative, des combinaisons

analogues à celles qui ont lieu par les actions chimiques. L'hydrogène que contiennent en abondance toutes les matières végétales doit lui-même provenir principalement de l'eau qu'elles ont décomposée.

Mais indépendamment de l'importance de ce liquide, envisagé comme étant en quelque sorte un réservoir des éléments de la matière végétale, et comme devant subvenir, par voie de décomposition, à l'accroissement de celle-ci, l'eau n'est pas moins indispensable comme entrant, à son état naturel, dans le tissu des plantes auxquelles elle donne la souplesse, la fixibilité nécessaires; et surtout comme étant le principal véhicule de tous les principes nutritifs, gazeux, solubles, et autres, qui concourent à l'accroissement des végétaux. Voilà pourquoi, pour peu qu'il y ait de chaleur, une terre, et autant que possible une atmosphère, humides, sont ce qu'il y a de plus favorable à la plupart des cultures.

Que faut-il pour que le sable aride, la roche nue, la pierre la plus dure, se couvrent d'une certaine végétation? Seulement un peu d'humidité. Existe-t-elle, aussitôt les mousses et les lichens s'emparent spontanément de toute surface minérale et la corrodent peu à peu, en insinuant dans ses pores des milliers de petites racines imperceptibles, mais qui sont, avec le temps, des agents de destruction. Ce n'est d'abord qu'une espèce de poussière qui s'at-

tache sur la pierre et le rocher ; mais elle ne tarde pas à augmenter de volume, et manifeste les caractères d'une véritable végétation ; bientôt quelqu'un des milliers de germes qui sont transportés dans l'atmosphère par le vent, les insectes, ou les oiseaux, vient s'attacher à ce premier revêtement, et y développe des plantes d'une organisation plus complète. Sous l'influence des changements de saison et des intempéries, il résulte de là une suite de décompositions dans lesquelles les sables et les poussières, fournis par les roches, se mêlent avec les débris des plantes, produisant de l'humus, qui est la substance éminemment propre à l'entretien de toute végétation.

Voilà par quels moyens la matière organique tend sans cesse à s'emparer de la matière minérale ; mais, on ne saurait trop le remarquer, tout cela ne s'opère que sous l'influence de l'humidité, puisque là où elle existe la végétation est souvent surabondante, tandis que là où elle manque celle-ci est nulle et impossible. Cela tient à ce fait, bien constaté, que ni le développement des germes, ni l'accroissement des plantes ne peuvent s'opérer sans le secours de l'eau. Telle semence qui restera indéfiniment à l'état de graine, tout en conservant, généralement pendant un grand nombre d'années, sa faculté germinative, si elle est tenue dans un lieu sec, se développera, au contraire, soit immédiatement, soit dans un court délai proportionné à sa

nature, dès qu'elle sera en contact avec l'humidité (1).

Nul doute que dans l'effet, si puissant, de l'irrigation sur les prairies des climats méridionaux on ne doive compter, pour beaucoup, le développement d'une multitude de graines, qui fussent restées stériles, d'après l'absence des pluies d'été.

Au delà de la période de la germination, l'eau, indépendamment de sa décomposition continuelle, n'est pas moins indispensable aux plantes faites, comme entrant toujours, en quantité notable, dans leurs principaux organes, qu'elle entretient dans l'état de flexibilité et de consistance convenables.

Son absorption dans le sol, par le chevelu des racines, pourrait s'expliquer par un simple fait de

(1) On vient de publier dans les journaux anglais un fait curieux, donné comme bien authentique, mais sur lequel le doute, et même l'incrédulité, me semblent bien permis. En développant les bandelettes d'une momie égyptienne, on y a trouvé quelques grains de blé, d'une conservation parfaite; mais remontant comme elle à une date constatée de 3000 ans. Ces graines semées et cultivées auraient donné des épis dont on a, dit-on, observé soigneusement le nombre, la grandeur, le produit, etc. — Il est bien vrai qu'il existe des semences qui conservent, pendant un temps très-long, leur faculté germinative. Le blé est du nombre; et celui qu'on a plusieurs fois découvert par hasard dans des silos, où il paraissait avoir été placé à des époques très-anciennes, a toujours germé et fructifié dans la terre, quand il n'était point altéré par l'humidité. On connaît d'autres graines qui, après avoir été conservées dans des cabinets d'histoire naturelle, ont germé au bout de quatre-vingt-dix et cent ans. Mais trente siècles! ce serait prodigieux.

capillarité; mais si cela a lieu ainsi pour des branches d'arbres coupées, pour des plantes arrachées, il se passe assurément, dans l'acte naturel de la végétation, un phénomène plus compliqué, dans lequel l'action physique de l'eau se combine avec l'action vitale de la plante. Sans cela, comment s'expliquerait-on que, dans certains cas, l'on trouve abondamment, dans le tissu de plusieurs d'entre elles, des particules minérales, ou métalliques, n'ayant pas passé à l'état de sels, étant complétement insolubles dans l'eau seule, et que la plante elle-même, sans le secours de celle-ci, n'aurait aucun moyen de s'assimiler? On peut donc dire que les plantes sont un véritable laboratoire, mais où la nature ne procède que par la voie humide.

Il y aurait, comme l'on voit, une recherche intéressante à faire sur le rôle de l'eau dans la physiologie végétale, et il serait curieux d'étudier, au point de vue de la science, comment on peut, par cette seule influence, solliciter les affinités chimiques au sein de la terre et dans les fibres les plus délicates. Mais nos connaissances sur ce point sont restées, depuis longtemps, à peu près stationnaires. Il est des choses qui échappent aux plus soigneuses investigations; peut-être même ne sera-t-il jamais donné à l'homme de soulever le voile impénétrable qui dérobe à ses yeux les mystères de la génération, de la vitalité, et de la mort, dans le règne végétal, aussi bien que dans le règne animal.

Au surplus, étant ici essentiellement dans le domaine de la pratique, je dois me borner à constater cette puissante influence de l'eau, comme un fait acquis à l'agriculture ; plutôt que de chercher à remonter à ses causes, à l'aide de considérations scientifiques. Je terminerai donc l'exposé des principes auxquels est consacré ce chapitre, en examinant rapidement comment l'eau agit sur chacun des principaux organes des plantes.

§ II. *Influence de l'eau sur les divers organes des végétaux.*

Influence sur l'ensemble des organes.—Si l'eau et les autres substances, qui entrent dans la composition des plantes, se présentent à l'état gazeux, elles peuvent être absorbées, directement, par leurs parties molles extérieures, sans avoir besoin de passer par le sol et par les racines. C'est dans ce sens qu'on dit communément que certaines espèces se nourrissent plutôt dans l'air que dans la terre. Mais encore est-il indispensable que l'air environnant jouisse d'un état convenable d'humidité, surtout pendant la nuit ; car, sans cela, l'absorption par cette voie serait toujours à peu près nulle.

En un mot, étant posé ce principe, que les végétaux se nourrissent concurremment par leurs racines et par leurs parties vertes ou charnues, situées hors de terre, on conçoit qu'il est de la plus grande

importance que, par ces diverses fonctions, ils puissent toujours tirer, soit du sol soit de l'atmosphère, des matériaux proportionnés à l'assimilation qu'ils peuvent en faire ; ou, en d'autres termes, à l'accroissement qu'ils peuvent prendre ; et c'est de l'équilibre entre ces deux facultés corrélatives que dépendent le plus ou moins de développement des plantes, le plus ou moins d'avantages à attendre de leur culture.

Or tout l'art de l'irrigation consiste à rétablir cet équilibre qui, dans l'ordre naturel des choses, n'est accordé qu'à un très-petit nombre de localités.

Si, pour l'air comme pour le sol, la sécheresse est très-prolongée, les plantes souffrent nécessairement ; attendu qu'un degré convenable d'humidité est une des conditions nécessaires de leur existence ; et que c'est seulement sous l'influence de l'eau que peut s'accomplir l'action vitale qui leur fait absorber les éléments divers qu'elles s'assimilent peu à peu. Dans cette circonstance les germes, non encore développés, restent à l'état de graines ; les plantes déjà hors de terre, surtout les plus jeunes ou les plus tendres, celles enfin dont la contexture est principalement herbacée, deviennent languissantes, se fanent, jaunissent, et bientôt se dessèchent tout à fait ; parce que la forte transpiration qu'elles éprouvent, sous l'action de la lumière et de la chaleur, dépouille leur tige de plus d'humidité que ne

peut lui en rendre la racine; et que, dès lors, le mécanisme de la végétation est entièrement détruit.

On conçoit donc aisément comment la sécheresse, quand on ne peut pas y suppléer, oppose un invincible obstacle à l'établissement d'une culture perfectionnée, et varié, dans les climats méridionaux, où, pendant toute la durée de l'été il ne pleut que par de rares exceptions. Là il est des cultures, et au premier rang sont les prairies, auxquelles il faut renoncer totalement, si l'on n'a pas d'eau à leur consacrer; autrement elles manquent toujours; et ce serait même une folle entreprise que de vouloir lutter, sur ce point, avec le climat.

Il est d'autres cultures qui, sans se trouver aussi rigoureusement proscrites, réussissent cependant fort mal dans ces contrées, et n'y donnent que des produits incertains. De ce nombre sont les céréales, et c'est pour cela que le midi de la France est obligé de se procurer, principalement par la voie du commerce, le pain, cet aliment de première nécessité.

Si la plante, ayant sa tige dans un milieu lumineux et sec, peut, au moyen de l'irrigation, avoir, au moins de temps en temps, le pied dans un sol humide; alors, sauf quelques distinctions secondaires qui seront indiquées plus loin, elle se trouve dans des conditions très-favorables, pour une

prompte et rapide végétation. Constater ce fait c'est signaler le grand avantage des contrées méridionales, où l'on peut introduire l'arrosage. Chaleur assurée et eau à volonté, avec cela le cultivateur peut tirer un immense parti de la terre. Mais ceci tient aux avantages généraux des irrigations et je les résume dans un autre endroit de cet ouvrage.

Influence de l'eau sur les racines.—Les racines ont deux buts différents : 1° fixer les végétaux dans le sol, où ils doivent prendre un point d'appui d'autant plus fort que leur tige est plus élevée et qu'ils sont dès lors plus exposés à l'action des vents; 2° concourir avec les feuilles, et autres organes externes, à leur nutrition et à leur accroissement. C'est bien à tort que l'on a prétendu, à différentes époques, d'après des expériences incomplètes et paradoxales, que le sol n'étant pour les plantes qu'un appui, plus ou moins nécessaire, on finirait par s'en passer; et que l'on pourrait, avec quelques précautions, faciles à prendre, récolter, sur des surfaces quelconques, du blé, de l'herbe, etc. Ce sont là des erreurs grossières qui ne méritent pas même une réfutation sérieuse, et quiconque n'est pas totalement étranger à l'agriculture comprend sans peine que rien ne peut remplacer le sol, où les racines des végétaux, de tous les genres, se trouvent dans les meilleures conditions possibles, pour remplir les différentes fonctions qui leur sont propres.

Considérée comme principal organe de la nutrition des plantes, l'endroit le plus important de la racine est ce que l'on nomme vulgairement le chevelu, qui se compose des fibrilles, plus ou moins nombreuses, servant à puiser les sucs nourriciers du sol. Le chevelu est la partie la plus délicate comme la plus essentielle de la racine et même de toute la plante; parce que cet organe étant très-impressionnable aux effets de la sécheresse et à ceux de l'humidité est facilement altéré par l'excès de l'une ou de l'autre; ce qui exerce toujours une influence immédiate sur l'état du végétal. Si, par l'aridité et la chaleur du sol, la racine est exposée à souffrir du manque d'eau, les barbes, ou extrémités les plus déliées, du chevelu perdent leur faculté absorbante; ce qui se manifeste nécessairement par une désorganisation analogue, d'abord dans les sommités les plus tendres de la tige, puis bientôt dans toute la plante, quand le manque de pluie est assez longtemps prolongé.

Lors même qu'après une grande sécheresse le sol redevient humide, le mal qui est fait ainsi ne se répare jamais complétement; car il faut que la racine ait le temps de produire un nouveau chevelu pour remplacer celui qui a été détruit, et pendant ce temps-là la tige profite très-peu.

Le moindre inconvénient qui résulte de l'effet prolongé de la sécheresse est donc un retard consi-

dérable dans la végétation, entraînant toujours un amoindrissement de la récolte.

Influence de l'eau sur les tiges et sur les feuilles. — On remarque que les plantes des terrains très-arrosés développent une grande quantité de boutons, et ont, par conséquent, beaucoup plus de feuilles que les mêmes plantes, dans les terrains non arrosés. Cet effet est également sensible sur les plantes herbacées, comme sur les arbres et arbustes, soumis à l'arrosage. Mais, pour toutes ces espèces différentes cette influence se manifeste bien plutôt sur les boutons à feuille que sur les boutons à fruit; de sorte qu'on regarde comme un fait bien constaté que l'irrigation développe seulement les parties vertes des plantes.

Indépendamment du plus grand nombre des feuilles et des tiges herbacées, leur qualité est également modifiée. Si on les compare à celles des mêmes végétaux non arrosés on reconnaît de suite qu'elles sont plus grandes, plus charnues, plus poreuses, et d'un vert plus foncé. La forte transpiration qu'elles éprouvent fait qu'elles sont même ordinainairement velues à leur face inférieure. Dans les cultures où l'on peut n'avoir en vue que la quantité de la production, cela offre des avantages; mais dans tous les cas où l'on doit tenir compte aussi de la qualité, il y a des compensations, et j'en dirai quelque chose à la fin de ce chapitre.

Influence de l'eau sur la fécondation et sur la formation des graines. — L'eau de pluie, et même celle d'irrigation, sont généralement défavorables à la formation des graines ou semences végétales; d'abord par la cause, signalée plus haut, d'une prépondérance marquée dans le développement des boutons à feuille, ce qui diminue nécessairement le nombre des boutons à fruit, ou à graine; mais encore parce que la vapeur humide, ordinairement si favorable à l'accroissement des plantes, leur est souvent nuisible, au moment de la floraison, surtout lorsqu'elle existe avec les abaissements de température, qui se remarquent dans les matinées et les soirées de la fin de l'été. Dans tous les cas l'humidité, qui s'élève des terrains arrosés, nuit considérablement à la fécondation, en ce qu'elle s'attache à la poussière fécondante, dont elle rend le transport bien plus difficile. Ce n'est donc réellement que dans le cas où, par l'effet d'une sécheresse trop prolongée, des plantes seraient tout à fait souffrantes, que l'humidité, due à l'arrosage, pourrait être regardée comme utile à leur fécondation, ou à la production de leurs semences.

Ce n'est pas seulement quant à la quantité, mais aussi quant à la qualité, que les graines ont à souffrir de l'influence d'une forte irrigation.

Dans certaines contrées on est dans l'habitude de beaucoup arroser les céréales; mais aussi les

grains qui en proviennent sont peu recherchés dans le commerce, comme étant d'une qualité inférieure; et surtout d'une conservation difficile. Ainsi donc, quand on a la ressource de l'arrosage pour les cultures de ce genre, on ne saurait en user avec trop de sobriété, à partir du moment de leur floraison. Cette précaution s'observe assez bien, dans plusieurs provinces du nord de l'Italie, sur le maïs, qui y est un des produits très-importants des terres irriguées.

Résumé du chapitre. — Il résulte des considérations développées ci-dessus, que l'eau est douée d'une puissante influence pour développer la végétation, notamment celle de plusieurs genres et espèces de plantes, très-utiles, dont, sans elle, la culture ne pourrait pas même être tentée, dans les régions méridionales, où il ne pleut pas en été. Mais il résulte aussi des mêmes détails, que l'eau n'agit pas d'une manière également favorable sur toutes les parties des végétaux soumis à son influence. En général, elle ne provoque que le développement des parties vertes, telles que boutons, feuilles, ramilles, etc., et nuit, plutôt qu'elle ne sert, à la fructification. Dans tous les cas, les produits quelconques des terrains très-arrosés se reconnaissent toujours à un tissu plus mou, plus spongieux, à des tiges plus tendres, à des feuilles plus épaisses et plus poreuses; et cet accroissement des parties vertes a lieu souvent aux dépens du volume ou de la

qualité des parties solides, huileuses ou aromatiques. A des degrés plus ou moins grands, les plantes, et végétaux usuels, se ressentent toujours de ces divers effets; et on ne doit pas manquer d'en tenir compte, avant de les soumettre à l'irrigation.

Ainsi, à part les arbres de la nature des saules, peupliers, aunes, etc., qui recherchent le voisinage de l'eau, une irrigation abondante agira généralement d'une manière défavorable sur tous les autres; en ce sens que, s'ils prennent en apparence un développement très-satisfaisant, leurs fibres trop dilatées par la surabondance des fluides aqueux, les constituent, relativement aux mêmes espèces, des terrains non arrosés, dans un état d'infériorité provenant, soit de la moins bonne qualité du bois, des fruits, ou autres produits, soit parce qu'ils sont beaucoup plus exposés aux influences atmosphériques, telles que les vents du nord, les brumes d'automne, et les premières gelées, là où ces inconvénients se font redouter. Bien des propriétaires de mûriers ont fait de fausses spéculations, en croyant voir un profit réel dans une grande augmentation sur la quantité de la feuille, sans s'occuper de la qualité. Dans plusieurs pays l'usage de donner beaucoup d'eau aux oliviers a été funeste à ces arbres utiles, qu'on a rendus plus sensibles à la gelée, et dont on a perdu successivement un bien plus grand nombre par cette cause.

Quant aux céréales, l'eau ne peut être appliquée utilement à leur culture, qu'en tenant compte des faits et observations déjà consignés ci-dessus.

Enfin, pour les fourrages eux-mêmes, qui sont en quelque sorte le produit caractéristique des irrigations, il y a aussi des limites essentielles à apporter dans l'usage de l'eau; mais ces détails trouveront leur place dans les chapitres suivants.

CHAPITRE VINGT-SEPTIÈME.

DISPOSITION PRÉALABLE DES TERRAINS A ARROSER. — TRACÉ DES RIGOLES. — QUALITÉ ET MODE DE DISTRIBUTION DES EAUX. — NÉCESSITÉ DES ENGRAIS. — COLMATAGE, ETC.

§ 1. *Disposition du terrain, rigoles, emploi des eaux, etc.*

Observations préliminaires. — Lorsque les eaux destinées à l'irrigation ont été introduites dans des canaux, tracés et établis d'après les règles indiquées dans le livre V, il s'agit, pour le cultivateur, d'employer ces eaux de la manière la plus profitable et la plus économique. Ce résultat n'est pas toujours facile à obtenir; et cependant une irrigation mal dirigée peut détériorer complétement les meilleures propriétés. L'eau est donc, en agriculture, un agent des plus puissants, qui peut faire beaucoup de bien ou beaucoup de mal, et que l'on ne doit manier qu'avec toutes les précautions nécessaires. Pour concevoir aisément qu'il en est ainsi, il suffit de remarquer qu'elle n'agit jamais d'une manière indifférente; car du moment qu'elle cesse d'être utile, elle devient immédiatement nuisible, soit au sol, qu'elle délaye et appauvrit, soit aux plantes, dont elle modifie la constitution et la nature.

Pour éviter un si grave inconvénient, il faut que

le cultivateur ait l'eau d'irrigation tout à fait à ses ordres; c'est-à-dire qu'il puisse non-seulement la distribuer, et la faire circuler dans ses cultures, avec la même régularité que le sang des artères et des veines circule dans l'économie animale, mais encore qu'il soit le maître d'arrêter, totalement ou partiellement, cette circulation établie, de manière à en modifier utilement les effets. On pourrait presque se borner à l'énoncé de cette condition fondamentale; car toute disposition quelconque du terrain qui sera de nature à y satisfaire, pourra être regardée comme convenable pour l'arrosage. Il est néanmoins quelques observations fondamentales qu'il est bon d'indiquer ici.

Pour traiter *in extenso* les matières que j'ai réunies dans ce seul chapitre, il eût fallu plus d'un volume; et pour les traiter en abrégé, la difficulté est très-grande, tant il y a de distinctions et de restrictions qui s'opposent à ce que l'on puisse donner des règles tout à fait générales; tant les préceptes, entièrement justes, applicables à une localité, placée dans certaines circonstances, peuvent devenir entièrement inexacts, pour une localité, placée dans des circonstances différentes.

L'irrigation proprement dite est celle qui s'exécute dans les climats méridionaux, jouissant régulièrement d'une température élevée, mais généralement privés de pluies estivales. Alors elle est toute-puissante, et l'on conçoit bien que dans ces

conditions, elle doit se manifester avec tous ses avantages. C'est à cette irrigation que se rapportent principalement mes recherches; et les préceptes, qui sont donnés sans restriction, lui sont toujours applicables.

Mais indépendamment de la culture des rizières et de celle des prés milanais, donnant lieu à des distinctions spéciales, il faut remarquer que l'arrosage n'est point restreint aux localités dont je viens de parler; car on l'applique tous les jours, et avec profit, dans des pays, ne jouissant que d'une température médiocre, et où l'on doit compter sur des pluies plus ou moins abondantes, dans la saison de la végétation. On remarquera surtout que l'on donne aussi le nom d'irrigation à l'emploi des eaux consistant à les faire couler, ou séjourner, pendant l'hiver, sur les terres dépouillées de leurs récoltes; non pas pour effectuer un arrosage proprement dit, puisque la végétation est alors arrêtée, mais pour opérer, d'une manière très-économique, le transport et le dépôt des amendements que l'eau renferme ordinairement, en cette saison, dans les pays où une telle pratique est en usage.

Outre ces distinctions fondamentales, qui intéressent la pratique même de l'irrigation, il en est de nombreuses à faire aussi sur les moyens accessoires qu'elle emploie; c'est-à-dire, sur la disposition préalable des terrains, le tracé des rigoles, la nature et la succession des cultures à préférer, le

choix et la quantité des engrais, etc. Et celles-ci se subdivisent encore de manière à faire tenir compte de ce qui concerne : la nature plus ou moins perméable du terrain à arroser, compris le sol et le sous-sol; son exposition astronomique; l'irrigation des prairies, laissées constamment en cet état, ou celle des cultures soumises à l'assolement; l'arrosage fait sur des terrains inclinés, avec ou sans colatures; ou sur des terrains plats; la qualité des eaux, suivant qu'elles sont plus ou moins claires ou troubles, plus ou moins chargées de matières, utiles ou nuisibles à la végétation; suivant qu'elles exigent plus ou moins d'engrais, etc., etc.

D'après cela il faut donc regarder le présent chapitre plutôt comme un simple programme que comme un développement complet et approfondi d'un sujet si étendu.

Disposition préalable du terrain. — La condition fondamentale de toute bonne irrigation, opérée sans le secours des machines, c'est que le terrain à arroser ait toute sa surface à un niveau suffisamment abaissé, en contre-bas de celle des eaux dont on dispose. Cette condition se trouve toujours remplie si, en faisant le tracé du canal d'arrosage, on l'a destiné à desservir les terrains dont il s'agit. C'est le cas le plus simple pour le cultivateur, qui n'a plus qu'à établir, pour son usage, une simple dérivation secondaire, après avoir toutefois dressé la superficie de son héritage, suivant

des pentes convenables, qui vont être indiquées à l'instant. Mais il arrive souvent que le propriétaire d'un terrain plus élevé que ceux qui ont été pris pour base du tracé susdit désire, néanmoins, faire jouir ce terrain des avantages de l'irrigation. Alors, comme il est impossible d'exhausser le niveau des eaux, il faut nécessairement abaisser celui du sol, et c'est la dépense à faire pour cette opération qui montre si elle est bonne ou mauvaise; car c'est une charge supplémentaire, qui n'est pas, généralement, mise en ligne de compte dans les évaluations préalables que l'on fait, en établissant les redevances à payer pour l'arrosage; ou, ce qui revient au même, en réglant le partage des bénéfices, entre les usagers et le fondateur d'un canal.

On ne pourrait pas procéder ainsi à l'abaissement d'une très-grande étendue de terrain; car l'opération deviendrait bientôt impraticable, d'après les frais trop élevés qu'entraînerait le transport des déblais, ou d'après la difficulté de pouvoir les employer; mais, sur une petite échelle, la chose est très-faisable, et se pratique tous les jours. Ainsi, dans les provinces milanaises, dont l'irrigation fait la principale richesse, on ne regarde pas comme une chose trop onéreuse d'effectuer cet abaissement du sol, depuis $0^m,50$ jusqu'à 1^m ou $1^m,50$, sur des étendues de plusieurs hectares. Mais cependant, d'après les frais que cela exige, il faut être, sous d'autres rapports, dans des conditions très-favorables.

On ne doit pas s'étonner qu'il reste presque toujours ainsi à proximité d'un canal d'arrosage, des terrains privés de la faculté de recevoir naturellement les eaux dérivées, car l'obligation d'établir ces canaux dans une situation élevée, relativement à l'ensemble des terrains qu'ils doivent desservir, est la principale cause des dépenses considérables qu'ils exigent; de sorte que modifier tout un tracé, en faveur d'une petite étendue de terrains, trop élevés pour avoir part naturellement à l'arrosage, serait une très-mauvaise opération; par la raison que, la plupart du temps, on n'épargnerait quelques milles francs de terrassements aux propriétaires de ces terrains, qu'en mettant quelques millions de plus à la charge du créateur du canal.

Ce cas particulier étant mentionné, il importe d'arriver de suite à l'examen du cas général, c'est-à-dire aux règles qu'il convient de suivre pour donner aux terrains irrigables la meilleure forme possible. Le plus grave de tous les inconvénients est celui d'avoir des eaux stagnantes, qui ne restent jamais à la superficie du sol sans causer le plus notable dommage aux cultures, quelles qu'elles soient; et cela est bien difficile à éviter, si ce sol offre des parties inclinées et des parties plates, s'il présente des creux et des bosses, si enfin sa surface est inégale et mal disposée. On a donc, de tout temps, reconnu la nécessité indispensable de dresser préalablement les terrains à arroser suivant une forme convenable

pour que l'eau répandue à leur surface y agisse utilement, au lieu d'être nuisible ; et, pour cela, le seul parti que l'on puisse prendre consiste à les disposer par faîtes et vallées, ainsi que cela a lieu à la surface du globe. Cette disposition fondamentale offre, en petit, sur quelques hectares de terrain, les mêmes garanties d'ordre qu'elle réalise en grand dans la nature. Supposons un instant la superficie de notre planète dépourvue des grandes lignes de pente qui y existent; soit qu'elle présente des aspérités quelconques, ou bien une surface parfaitement unie, comme une sphère géométrique; les eaux pluviales, là surtout où elles tombent en abondance, n'y produiraient qu'un affreux désordre; car, n'ayant plus à suivre aucun trajet déterminé, elles divagueraient partout, dégradant les terrains peu résistants, envahissant les lieux habités, etc.

Or, sur une plus petite échelle, des dommages analogues auraient lieu, par le fait de l'introduction des eaux d'arrosage sur un terrain qui, avant de les recevoir, n'aurait pas été, ainsi, exactement disposé par faîtes et thalwelgs, c'est-à-dire de manière : 1° que les eaux arrivent par les lignes culminantes ; 2° qu'elles produisent leur effet utile en se répandant sur les versants, ou plans inclinés, partant des lignes susdites ; 3° que le surplus, ou la portion non absorbée, soit complétement recueillie par les colateurs, ou canaux spéciaux d'écoulement, existant à la jonction inférieure de ces plans inclinés. Tel est le mé-

canisme de l'irrigation proprement dite ; telle est la disposition fondamentale qui, toutes les fois qu'elle est remplie, doit assurer le succès d'un arrosage.

Après celle-là, les autres précautions à prendre ne sont plus généralement que des objets de détail. Ainsi, que les lignes de faîte et de thalweg, de même que les surfaces inclinées qui les réunissent, aient des contours droits ou courbes, cela est tout à fait indifférent ; la seule chose essentielle, c'est qu'ils aient les uns et les autres des inclinaisons convenables et modérées, dont il va être parlé plus loin. Je me garderai donc bien d'indiquer une forme plutôt qu'une autre, puisqu'elles peuvent varier avec les mille situations particulières des terrains à arroser, attendu qu'une condition non moins indispensable encore à observer, c'est d'atteindre toujours, aux moindres frais possibles, le but dont il s'agit. On doit ajouter cependant que des directions rectilignes, quand on peut en avoir, ou tout au moins que des contours larges et bien développés, sont nécessaires aux canaux secondaires et aux rigoles de distribution, tout autant qu'aux canaux principaux. De sorte que, dans les localités où l'irrigation est très-profitable, ce n'est pas un luxe mal entendu que celui qui porte sur ce point.

Tout en présentant comme une chose indispensable l'existence des pentes dans un système d'arrosage, je dois remarquer qu'il est des cas dans lesquels elles sont nulles ou insensibles, par exemple,

dans les rizières, comme on le voit dans la note spéciale placée à la fin de l'ouvrage. Je sais qu'il est aussi des localités dans lesquelles, au lieu de distribuer l'eau d'arrosage, aux cultures ordinaires, sur des plans plus ou moins inclinés, on le fait sur des surfaces horizontales préalablement limitées, et que l'on a soin d'encaisser complétement entre de petites digues. Cela se fait notamment dans plusieurs de nos départements des Pyrénées. Cet usage, qui ne se pratique jamais dans le nord de l'Italie, ne me paraît pas bon; il ne pourrait s'expliquer, en tous cas, que par l'extrême rareté des eaux, et par la crainte d'en perdre la plus petite quantité, en colatures. Mais aucune des garanties que l'on trouve dans l'irrigation opérée sur des surfaces inclinées, n'existe dans ce cas; de sorte que l'on ne peut considérer cette pratique que comme défectueuse, ou exceptionnelle, sans qu'on puisse dire précisément dans quel cas il doit être avantageux d'y recourir.

Dans le système d'arrosage des prairies ordinaires, la disposition indiquée ci-dessus, dont cependant on se rapproche toujours autant qu'on le peut, n'est plus aussi indispensable. Les versants admettent des formes courbes et une étendue variable, selon les mouvements naturels du sol. Quant aux inclinaisons proprement dites, elles vont depuis $0^m,001$, jusqu'à $0^m,08$, ou $0^m,10$ par mètre, selon la nature plus ou moins consistante du terrain; mais

on peut toujours, par une disposition convenable, du système des rigoles, faire circuler l'eau, d'une manière également réglée, sur des terrains diversement inclinés.

Dans le nord de l'Italie, les mouvements de terre les plus considérables, destinés à l'application des arrosages sont confiés à la classe intelligente des *campari*, ou eygadiers. Sans calculs, sans nivellement, et, la plupart du temps, à l'aide de simples piquets ou nivellettes, et de témoins en terre, ils opèrent avec une habileté surprenante le dressement du sol le plus ingrat.

Tracé des rigoles. — Les rigoles dont il s'agit ici sont celles que doivent ouvrir les cultivateurs, pour faire arriver, et pour répandre, sur leur terrain, les eaux d'un canal d'arrosage. Il n'y a pas plus de règles invariables pour leur tracé que pour les dispositions préliminaires de la superficie du sol. Pour l'une et l'autre de ces opérations, on est entièrement gouverné par la nécessité d'agir avec la plus grande économie, et, conséquemment, de se baser toujours sur les inclinaisons ou mouvements naturels du terrain à arroser, de manière à diminuer le plus possible les terrassements, tout en observant néanmoins les considérations fondamentales qui viennent d'être indiquées.

Soit dans la disposition préalable du sol, soit dans le tracé des rigoles d'arrosage, l'art consiste à faire que les eaux arrivent le plus promptement

et le plus également possible sur la superficie où elles doivent se répandre. Or, tout le monde conçoit que pour remplir ce double but il y a plusieurs dispositions équivalentes, suivant la forme et les pentes naturelles du terrain. Il serait donc tout à fait inutile d'indiquer, comme pouvant servir de règle, le système de rigoles existant sur tel ou tel domaine; puisque cela peut varier à l'infini.

Il résulte de ces considérations que le tracé des rigoles est subordonné aux pentes, qui ont été données ou conservées à la superficie du sol, à la nature du terrain, et à la vitesse de l'eau qu'elles doivent recevoir. C'est pour cela que les rigoles secondaires font généralement, sur la direction des rigoles principales, un angle d'autant plus aigu que la pente du terrain est plus rapide.

Quelles que soient les modifications qui résultent, pour le tracé des rigoles, de l'obligation où l'on est de les subordonner aux formes naturelles du terrain, et quoique le répandage de l'eau s'opère quelquefois directement par de simples saignées, ou pattes d'oies, pratiquées sur la rigole d'amenée, et établies suivant des pentes convenables; il est cependant d'usage que l'on se rapproche toujours, autant qu'on le peut, des règles fixes, usitées pour les prés milanais, dont les versants, ou *ailes*, sont partagés, parallèlement à leur longueur, par des rigoles spéciales d'épanchement, n'ayant que des pentes à peu près nulles et dont l'eau, en couches aussi minces que l'on veut,

franchit, comme un déversoir, le bord situé du côté de la pente.

La division du terrain à arroser en un nombre plus ou moins grand de compartiments, par le système des rigoles de différents ordres, est une opération importante. Elle dépend de l'abondance des eaux à répandre et de la nature du sol. Les terres peuvent, sous ce rapport, être divisées en trois classes principales : 1° terres légères et sablonneuses absorbant l'eau avec beaucoup de facilité; 2° terres franches ou fortes qui l'absorbent modérément et sont, par ce motif même, très-favorables à la végétation; 3° terres argileuses, marneuses, ou froides, absorbant l'eau difficilement. C'est pour celles de cette dernière classe que les versants peuvent avoir le plus de largeur.

Dans l'usage de la Lombardie, les limites extrêmes de ces largeurs, correspondant aux deux natures opposées des terrains susmentionnés, sont : d'une part, au minimum, 7^{m} ou 8^{m}, pour les terres légères; de l'autre, au maximum, 40^{m} à 45^{m} pour les terres fortes. En adaptant une largeur plus grande, on s'exposerait nécessairement à rendre l'irrigation inégale et à perdre de l'eau.

Dans le système d'arrosage ordinaire, les rigoles principales sont celles qui existent, soit sur les lignes culminantes, quand il y a plusieurs versants, soit dans la région la plus élevée, quand il n'y en a qu'un seul; les rigoles secondaires existent inférieurement et dans des directions à peu près pa-

rallèles aux premières. Par ces mots largeur de l'aile ou du versant, on entend l'intervalle qui sépare deux rigoles parallèles, de quelque ordre qu'elles soient; c'est-à-dire qu'ils s'appliquent aussi bien à l'intervalle compris entre la rigole principale et la première rigole secondaire qu'entre la dernière de celle-ci et le colateur.

Quoiqu'il n'y ait pas de règle bien fixe à cet égard, on doit, autant que possible, pour la régularité de l'irrigation, établir ces intervalles égaux, ou les rigoles équidistantes. Mais tout dépend des inclinaisons, plus ou moins grandes, du terrain et de la direction suivant laquelle l'eau arrive.

Quant aux pentes, on doit observer, pour les rigoles, et même pour leurs ramifications du dernier ordre, les mêmes règles qui ont été indiquées dans le chapitre spécial, traitant de cet objet.

La dépense de leur ouverture, surtout lorsqu'elle est confiée à des hommes expérimentés dans ce genre de travaux, est toujours peu considérable, parce que l'on fait en sorte qu'il n'y ait à payer que la fouille, sans transports.

Dans les terres fortes ordinaires, qui forment presque partout le sol des prairies, on ne doit pas compter les déblais de cette nature à plus de $0^{fr.},24$ ou $0^{fr.},25$ le mètre cube, et cela pour les plus fortes rigoles ou même pour les petits canaux de 1^{m} à $1^{m},50$ de largeur moyenne; ce qui excède les dimensions des fossés des routes royales.

La section de ces dérivation ou leur cube par mètre courant étant de $0^m,50$ à $1^m,00$, le prix qu'elles coûtent, varie de $0^{fr.}$, 13 à $0^{fr.},25$ par mètre ou de 130 fr. à 250 fr. par kilomètre. Les rigoles moins considérables coûtent moins cher; et, quant aux plus petites, qui ne sont guère qu'un sillon, pouvant être fait, ou du moins ébauché, soit à la charrue, soit avec des coupe-gazons, qui sont très-expéditifs, elles doivent revenir à moins de $0^{fr.},01$ le mètre ou de 10 francs les mille mètres.

Voici un détail récent, fourni sur cet objet par M. le président de la Société d'agriculture de Saône-et-Loire, sur le détail des frais, occasionnés dans le courant de l'année 1842, pour la mise en irrigation d'un pré de 5 hectares, dépendant de la Ferme-École de Tavernay, dans ce département.

DÉSIGNATION DES RIGOLES.	LONGUEURS.	DÉPENSES.	PRIX par mètre courant.	PRIX par kilomètre.
	m.	fr.	fr.	fr.
Dérivation, ou petit canal, d'environ $0^m,80$ de largeur.	235	17,80	0,072	72,00
Rigoles principales, d'environ $0^m,50$. . .	249	10,00	0,040	40,00
Rigoles secondaires et colateurs.	741	9,25	0,012	12,00
Idem plus petites. . .	4.788	29,92	0,006	6,00
		66,97		

Dépense totale pour rigoles. . .	66 fr.	99
Si, à cette dépense, on ajoute celle de.	306	95
Comprenant les fournitures de dix empellements à 6 fr. 40 c. l'un, et les frais de nivellements, porte-mire, dressement du terrain, etc., on trouve un total de.	373 fr.	92

Ces frais sont extrêmement minimes; car ils donnent moins de 75 francs par hectare; ce qui représente à peine une année de la plus-value créée par l'introduction de l'arrosage sur les terres qui n'en jouissent pas. Mais il est vrai de dire que ce cas peut être cité comme très-avantageux; car, dans les situations ordinaires, les mêmes dépenses sont rarement au-dessous de 150 à 200 francs par hectare.

On peut résumer en peu de mots ce qui concerne le tracé des rigoles, en disant que toute disposition quelconque leur convient, pourvu qu'elle remplisse bien ce double but: 1° faire arriver l'eau à volonté à la partie la plus élevée d'un terrain, dressé en pente douce, de manière qu'elle s'y répande le plus également possible; 2° donner un moyen d'écoulement aux eaux surabondantes ou au superflu de l'arrosage. Dans beaucoup de cas cela est possible à obtenir, avec des eaux fonctionnant seules; mais presque partout, ces eaux sont

assez précieuses pour qu'on surveille de très-près leur bon emploi. C'est donc à l'aide de petites retenues d'eau, changeant de place à volonté, que les eygadiers obtiennent, avec facilité, de faire fonctionner les rigoles de la manière la plus convenable. Ces retenues sont tout ce qu'il y a de plus simple et de plus rustique; pour les petits canaux et grandes rigoles, ayant 1 mètre, ou plus, de largeur, il faut de véritables empellements; mais au-dessous de cette dimension, une lave, une ardoise, une simple planche, quelques mottes de gazon fixées par des piquets, sont les seuls ouvrages d'art que réclame l'industrie du cultivateur arrosant.

Les prescriptions ci-dessus, concernant les rigoles, conviennent principalement pour les prairies. Dans les terrains labourés et sarclés, comme cela a lieu pour le maïs, les céréales, etc., on dispose ordinairement la superficie par billons, formant naturellement, dans leurs intervalles, des sillons, ou rigoles, dans lesquels on introduit la quantité d'eau que l'on veut faire absorber, mais sans qu'il y ait déversement sur toute la surface.

Qualité et emploi des eaux. — Tous les cultivateurs savent qu'il y a des eaux plus ou moins bonnes pour l'irrigation. Cela vient de ce que, parmi les substances qu'elles tiennent en dissolution, ou en suspension, les unes sont avantageuses, les autres nuisibles à la végétation, eu égard à la nature du sol, avec lequel ces mêmes substances

tendent toujours à se combiner. Mais il est bien rare, qu'en sachant les employer convenablement, on ne puisse tirer un parti utile des eaux quelconques, lorsqu'elles se trouvent mises, en quantité suffisante, à la disposition de l'agriculteur. Par exemple, il existe dans le nord de l'Italie certaines eaux fortement chargées de sulfate de fer, sel qui, dans les terrains ordinaires, est un véritable poison pour les plantes; mais on n'a pas tardé à découvrir que cette eau, employée exclusivement sur les terrains calcaires, où ce sel ferrugineux se décompose, était, au contraire, non-seulement un moyen d'arrosage, mais, en même temps, un puissant stimulant pour la végétation. Quant aux eaux, qui sont fortement chargées de substances animales ou végétales, en décomposition, on conçoit aisément que, sur tous les terrains possibles, leur emploi doit être éminemment profitable; mais j'en parlerai plus spécialement dans le paragraphe suivant, qui traite des engrais dans leurs rapports avec l'irrigation.

En principe, quand les eaux d'arrosage contiennent des matières étrangères, et c'est le cas général, ces matières ne sont jamais indifférentes; elles sont très-utiles quand les végétaux que l'on cultive peuvent les digérer et se les assimiler, avec ou sans décomposition préalable; elles sont au contraire nuisibles, du moment que cet effet n'ayant pas lieu, elles tendent à former un sédiment infer-

tile, qui va toujours en s'accumulant par l'effet prolongé de l'irrigation. Quand des eaux, destinées à l'arrosage, sont reconnues nuisibles pour un terrain déterminé, il peut arriver que l'on ait, sous la main, des matières pouvant être employées comme engrais ou amendements, et propres à les corriger; mais, comme cela est assez rare, il vaut mieux chercher à les conduire sur un terrain de nature différente. Car ce n'est pas avec des réactifs que l'on peut penser à obvier à cet inconvénient, comme on le ferait dans un cabinet de chimie.

Les eaux de source qui sont, en hiver, d'une température plus élevée que celle de l'atmosphère, sont très-avantageuses pour les prairies dont on veut entretenir la végétation pendant cette saison; elles sont dans le cas contraire, pour les irrigations d'été; à cause de leur température, alors trop basse, qui ne permet pas de les employer sans précautions.

En général, les irrigations effectuées au grand soleil, ou pendant les heures les plus chaudes du jour, sont les moins avantageuses; les meilleures sont celles qui peuvent se faire la nuit, le matin, ou le soir.

En été, l'arrosage a toujours pour résultat de refroidir la superficie sur laquelle il s'opère, d'abord par la moindre chaleur spécifique de l'eau, mais surtout par la forte évaporation qu'elle laisse inévitablement à sa suite, et dont l'effet est bien connu. Pour remédier autant que possible à l'influence fâcheuse que peuvent avoir des eaux plus ou moins froides

employées sur un terrain très-échauffé par l'action du soleil, les eygadiers soigneux ont l'attention de ne les donner que peu à peu, dans le commencement, de manière à établir une transition graduée, qui est toujours très-utile à la santé des plantes.

C'est surtout sur les prés nouvellement fauchés que l'on doit observer cette précaution; car les jeunes brins de l'herbe, que l'on a pour but de faire repousser promptement, étant privés de l'abri protecteur de la récolte qu'on vient d'enlever, sont excessivement sensibles à l'action de l'air. Dans ces circonstances, l'arrosage, par le soleil, est ordinairement dangereux. J'ai examiné précédemment le genre de préjudice que l'irrigation exerce sur les plantes en général, au moment de leur floraison; on doit en tenir compte ici; car, encore bien que, la plupart du temps, la semence soit la partie dont on s'occupe le moins, dans les cultures arrosées, ayant surtout pour objet les fourrages, il est certain que les graines qui tombent, au moment de la fauchaison ne sont pas perdues et contribuent à entretenir les prairies en bon état de production; de sorte que c'est une pratique observée chez les cultivateurs intelligents, que de restreindre, ou même de suspendre entièrement l'arrosage, au moment de la floraison des récoltes, quelles qu'elles soient, du reste.

On cherche toujours à obtenir que l'irrigation de chaque portion de terrain, d'après sa nature et sa

situation, s'opère dans le moins de temps possible, soit pour moins le refroidir, soit pour épargner la surveillance des eygadiers.

Ces observations ne sont qu'une faible partie de celles que l'on peut faire utilement sur la pratique des arrosages. Mais, comme les préceptes varient nécessairement d'une localité à une autre, on ne doit pas trop les étendre dans leur généralité; ceux qui viennent d'être développés suffiront pour mettre sur la voie les agriculteurs éclairés, qui sauront bien faire, d'eux-mêmes, les observations applicables à leur localité (1).

§ II. *Des engrais et des amendements dans leurs rapports avec l'irrigation.*

Celui qui aurait découvert le moyen de doubler, ou de tripler, la puissance productive du sol, seulement avec de l'eau, aurait trouvé la poule aux œufs d'or; car l'eau des rivières et des ruisseaux est si abondante, ou, pour mieux dire, on la laisse se perdre, partout, en quantités si notables, qu'en présence d'un tel avantage, l'émulation des cultiva-

(1) Les observations précédentes sont faites dans l'hypothèse que l'on dispose, pour l'irrigation, d'eaux dérivées d'une rivière. Mais elles s'appliqueraient également dans les localités où l'on n'aurait d'autre moyen de s'en procurer que de recueillir à l'aide de réservoirs, établis à des hauteurs suffisantes, les eaux pluviales qui tombent en abondance pendant l'hiver. Sans doute les arrosages effectués de cette manière se trouvent grevés d'une charge nouvelle, d'après la construction généralement coûteuse de ces réservoirs; mais néan-

teurs, aidée du levier puissant de l'association, eût été assez vivement stimulée pour ne laisser aujourd'hui que peu de chose à faire en matière d'arrosage

Mais il n'en est pas tout à fait ainsi, et l'on ne doit pas laisser ignorer aux personnes encore inexpérimentées dans cette voie, que, sauf les exceptions examinées plus loin, l'irrigation consomme beaucoup d'engrais. Cette obligation est, ainsi que celle des curages, une des charges de cette industrie, une cause de réduction dans les produits nets qu'elle peut donner, enfin une limite à son extension parmi les petits cultivateurs; car, indépendamment des redevances à payer annuellement, pour l'achat ou la location de l'eau, il faut encore avoir, par devers soi, un premier capital, pour subvenir, en quantité suffisante, à la fourniture préalable des engrais, qui sont à la fois, je le répète, la matière première la plus coûteuse et la condition *sine quâ non* du succès des arrosages. C'est pour cela que, même avec de l'eau disponible, n'arrose pas qui veut. S'il est des localités dans lesquelles les populations agricoles manquent à la fois d'aisance et de crédit,

moins ils sont susceptibles de donner des bénéfices réels. On en voit un exemple remarquable dans les travaux exécutés par M le comte d'Angeville, auteur de la proposition législative examinée dans le volume suivant. Ce propriétaire éclairé, qui a su tirer un parti remarquable d'une localité assez peu avantageuse, n'a jamais pratiqué l'irrigation que dans ce système, et cependant il a eu lieu de s'en applaudir.

alors l'arrosage est difficilement à leur portée; pour qu'il se réalise, il faut nécessairement que des étrangers viennent exploiter pour elles.

Rien n'est plus facile que de concevoir comment l'irrigation proprement dite consomme beaucoup d'engrais, comment elle est nécessairement épuisante pour le sol; en effet, elle agit ainsi, pour cela, de deux manières différentes : d'abord parce qu'elle provoque une production de matière végétale infiniment plus considérable que celle qui aurait lieu sans son influence ; en second lieu, parce que, à l'aide des pentes qui sont ordinairement nécessaires pour une bonne pratique des arrosages, l'eau délaye le sol, qu'elle dépouillerait de son humus lors même que la végétation ne produirait pas aussi le même effet.

Sans se rendre compte théoriquement de ce qui se passe, sous ce rapport, tout le monde concevra sans peine que ce n'est pas avec de l'eau claire que l'on peut procurer à la terre ce qu'il lui faut pour subvenir à l'énorme production qui se constate dans les cas les plus remarquables de l'arrosage; par exemple, sur les *marcite* des environs de Lodi, où l'on est parvenu à nourrir 50 vaches avec le seul produit de 15 à 16 hectares.

C'est donc véritablement par la faculté qu'elle a d'agir surtout sur les engrais, de dissoudre, et de transmettre aux racines des plantes, les parties solubles disséminées dans le sol, que l'irrigation, ua-

turelle ou artificielle, agit sur la végétation d'une manière si puissante.

Ainsi ce n'est véritablement qu'avec le concours simultané de l'eau et des engrais que l'on peut prétendre aux bons et grands résultats obtenus par ce moyen. Partout où, avec des dépenses modérées, l'on pourra disposer de ces deux choses, il n'y aura plus de mauvais sols. Le gravier le plus aride, l'argile la plus infertile, ou tout autre terrain réputé rebelle à la culture, y sera soumis immédiatement, avec profit, par l'emploi de ces deux agents, si précieux pour l'art agricole.

A la vérité, il y a un petit nombre de cas d'exception dans lesquels l'eau, employée en arrosages, ne réclame pas d'engrais. Il y a même plus, puisqu'on connaît des localités où les eaux en sont tellement riches qu'après avoir bonifié, surabondamment, le terrain sur lequel on les emploie, elles y laissent un dépôt considérable qu'on peut utiliser ailleurs.

Telles sont les eaux du très-ancien canal de la Vettabia, qui prend naissance à la partie sud de la ville de Milan, où plusieurs fois chaque année, il reçoit, au moyen des chasses d'eau, dont j'ai parlé précédemment, toutes les immondices de la ville qui se rassemblent dans le canal intérieur.

Ces eaux étant chargées des matières animales et putréfiables, qui proviennent des boucheries, des hôpitaux, etc., les terrains sur lesquels on les em-

ploie s'exhaussent, en un ou deux ans, d'une couche de plusieurs centimètres que l'on est obligé d'enlever pour conserver les anciens niveaux adoptés dans le système primitif de leur distribution. D'après cela, non-seulement les terrains jouissant de cette situation privilégiée ne reçoivent jamais d'autre engrais que celui qui leur est transmis par le fait même de l'arrosage, mais encore on se procure par l'enlèvement et le transport de ce sédiment une précieuse ressource pour le fumage et l'amendement d'autres terrains sur lesquels il est d'un excellent usage.

Encore bien que la surabondance de cet engrais liquide et la nature souvent putride des eaux qui le transportent aient quelquefois une influence fâcheuse sur la qualité des récoltes qui les reçoivent de première main, on conçoit que les terrains situés naturellement de manière à profiter d'un si grand avantage doivent avoir une haute valeur. Effectivement le prix de ceux dont je parle est à peu près triple de celui des autres terres de première qualité des environs de Milan.

Mais il ne faut pas perdre de vue qu'il s'agit ici d'une situation unique; que dans tous les pays du monde les eaux, situées de manière à se répandre naturellement sur les campagnes, ne portent avec elles que dans les cas excessivement rares de véritables engrais, et surtout des matières animales, qui sont le plus riche de tous. Or un cas qui ne se pré-

sente peut-être pas une fois sur mille ne peut être regardé que comme une rare exception.

Les engrais comprennent toutes les matières animales ou végétales capables d'exercer une action utile sur la végétation, comme subvenant directement à la nourriture des plantes. Ils forment une catégorie distincte, mais extrêmement voisine, de celle des amendements, principalement formés de matières minérales pouvant agir sur le sol, de manière à y stimuler, ou même à y développer, des principes nouveaux de fertilité. L'action la plus simple des amendements est celle qui s'opère sur la consistance même du sol. C'est ainsi que l'on emploie les marnes sur les terres meubles ayant trop peu de corps et ne conservant pas assez d'humidité. Par la même raison, on se sert de sable pur ou de terre sablonneuse pour corriger les terres froides et argileuses, qui se laissent difficilement pénétrer par les influences atmosphériques. Mais beaucoup d'amendements, tels que la chaux, le gypse, le plâtre, etc., ont une véritable action chimique.

Quoiqu'il semble résulter de cette définition, qu'il y a entre ces deux choses une distinction assez facile à faire, elle est, au contraire, fort incertaine; de sorte que la nomenclature des engrais et celle des amendements se fondent l'une dans l'autre, par une transition insensible. Plusieurs articles peuvent, en effet, être classés indifféremment dans l'une ou l'autre catégorie; tels sont : les terres neuves, les

produits de curages, la suie, la tourbe, et plusieurs autres encore. On peut ajouter aussi que beaucoup de substances, ayant le caractère principal des amendements, contiennent aussi des engrais; et réciproquement.

.Les principaux engrais qui sont employés, avec avantage, dans l'irrigation, peuvent être classés à peu près ainsi qu'il suit, par ordre de leur plus grande richesse :

1° Matières animales provenant des abattoirs, ateliers d'écarrissage, etc.; 2° poudrette ou excréments humains; 3° colombine et matières analogues; 4° os, poil, débris de laine et de corne; 5° fumiers d'étable; 6° tourteaux ou résidus de plantes oléagineuses; marcs de raisins et autres; 7° boues et balayures des rues; 8° récoltes enterrées en vert, plantes marines ou aquatiques, etc., etc.

Parmi les amendements, en commençant par ceux qui se rapprochent le plus des engrais, on dot citer principalement les suivants : 1° terres neuves, répandues mécaniquement, ou charriées par les eaux; 2° marne (pour les terres trop légères ou manquant de corps); 3° sable, siliceux ou calcaire, (pour les terres trop fortes); 4° suie; 5° tourbe; 6° cendres; 7° chaux vive; 8° plâtre, etc., etc.

Ces diverses substances qui ne sont pas, à beaucoup près, la totalité de celles dont on peut tirer parti avec avantage, sur les cultures arrosées, exigent toutes des précautions particulières. Ainsi les

engrais les plus riches tels que ceux que fournissent la chair, le sang, les intestins des animaux et toutes les matières analogues, ne peuvent jamais être employés qu'après certaines préparations, ayant toujours pour but d'en atténuer la force, de mitiger leur action ; car, autrement, la fermentation putride qu'ils subissent, avec un très-fort développement de produits gazeux, serait susceptible d'altérer et même de détruire promptement la plupart des plantes qui se trouveraient en contact avec eux. Les engrais de cette première classe ne peuvent donc presque jamais s'employer purs, et c'est par des mélanges convenables qu'on parvient à les amener au degré de force voulue, pour le succès des cultures auxquelles on les destine. La poudrette, la colombine et autres engrais très-puissants sont aussi dans le même cas.

Au contraire, les engrais de la deuxième classe, tels que les os pilés, les rognures de corne, débris de laine, poils, etc., ont cela de remarquable que leur décomposition étant très-lente, ils ne cèdent que successivement, à la terre, leurs principes fertilisants, et ont une action utile sur plusieurs récoltes. Sous ce rapport, ils sont pour le plus grand nombre de cas, d'un usage excellent ; mais, comme ils n'existent pas en abondance, leur prix est au moins dans la même proportion que leur valeur intrinsèque.

Les fumiers d'étable ne représentent pas, il s'en faut beaucoup, des engrais aussi puissants que ceux dont

il vient d'être parlé. Mais comme ils sont presque les seuls dont l'agriculture puisse disposer en quantités considérables, partout leur usage est le plus répandu, sur les cultures irrigables comme sur les autres; seulement il y a beaucoup de distinctions à faire dans la manière de les employer, suivant leur nature, leur degré de fermentation et la qualité des terres où on doit les répandre.

Le fumier des chevaux, soumis à un fort travail et nourris principalement d'avoine, est très-chaud, fermente de suite, et convient aux terres qui ont besoin de stimulant. Le fumier des bêtes bovines, et surtout des vaches que l'on tient continuellement à l'étable, comme cela se fait beaucoup aujourd'hui, est, au contraire, froid, aqueux, et convenable pour les terres légères. C'est en sachant bien mélanger ces divers fumiers que l'on parvient à en composer qui soient les plus avantageux pour tel ou tel sol, pour telle ou telle plante.

Dans les contrées arrosées du nord de l'Italie, on met un soin extrême à tirer parti de tous les engrais; on ne manque jamais, par exemple, de recueillir, dans des citernes, la grande quantité d'urine qui se produit dans les vacheries, et cette urine, quand elle a subi une fermentation ammoniacale qui la dénature tout à fait, devient non-seulement un engrais des plus puissants, mais elle a la propriété d'augmenter beaucoup la valeur d'autres engrais, qui, sans cette addition, seraient restés mé-

diocres. De ce nombre est le fumier des porcs, qui sont très-abondants sur tous les domaines arrosés du Piémont et de la Lombardie, où on les nourrit de son, d'eaux ménagères, de gros légumes, et surtout des bas produits des laiteries.

Un des procédés caractéristiques de l'agriculture qui s'appuie sur l'irrigation, dans ces contrées où l'on a su rendre la terre si productive, consiste donc à bonifier les engrais par leur mélange. Cette opération, très-judicieuse, ne se pratique pas seulement sur les engrais entre eux, mais encore sur les engrais et les amendements, notamment avec des terres neuves, et, par-dessus tout, avec les terres provenant du curage des canaux, lesquelles sont toujours réservées soigneusement pour cet objet. Cette manipulation, qu'on effectuait constamment dans les belles fermes que j'ai visitées, principalement en Lombardie, est la meilleure manière de tirer un excellent parti des engrais. Elle donne lieu à une certaine main-d'œuvre, mais on en est bien dédommagé, soit par l'économie des fumiers, soit par la plus grande quantité des produits récoltés.

Une autre classe d'engrais extrêmement intéressante, pour les cultures arrosées, est celle que composent les tourteaux, ou marcs des plantes oléagineuses; ils sont du nombre de ceux dont l'action sur le sol est durable, quoique très-prononcée; encore bien qu'ils ne soient qu'une matière purement végétale. On a, en Italie, des moulins destinés à

réduire ces tourteaux en poudre assez fine ; car ce n'est qu'à cet état qu'ils produisent tout leur effet. Dans le midi de la France, en raison du développement de la fabrication des huiles d'olives et de l'importation des huiles communes, servant à la confection des savons, il se produit une très-grande quantité de cette matière très-utile, qui est un des soutiens de l'irrigation. Sans les tourteaux (qu'on nomme vulgairement, en Provence, les trouilles), il serait impossible de se procurer, seulement au moyen du bétail, des moyens de réparer suffisamment les terres soumises à l'irrigation ; sous ce rapport, il est d'un haut intérêt pour le progrès agricole de nos départements du Midi qu'on y maintienne la facile introduction d'un produit nouveau, le sésame, dont, tout récemment, en faveur du commerce du Nord, on parlait à la tribune nationale, sur un ton moitié plaisant, moitié fâché (1). Une mesure des plus salutaires consisterait à interdire l'exportation, de plus en plus grande, que viennent faire, de cette matière utile, les Anglais, au préjudice de l'agriculture française.

Les engrais composés et pulvérulents, qui se trouvent en grande quantité dans le commerce, seraient excellents pour les terres arrosées, notamment pour le jardinage, qui en consomme beaucoup, s'ils n'étaient pas si souvent altérés par le mélange de ma-

(1) On a dit que son introduction en France, par suite de l'abaissement des droits, avait produit un 93 oléagineux.

tières inertes, qui en augmentent le poids et le volume, aux dépens de leur qualité.

Enfin les engrais purement végétaux, consistant principalement dans les récoltes enterrées en vert, sont d'une faible ressource pour les cultures arrosées, qui réclament un aliment plus substantiel. Cependant on verra, par les notes placées à la fin du tome III, que cette méthode est également en usage sur les territoires irrigués de la haute Italie.

Pour compléter cet article, il resterait à parler des amendements dans leur rapport avec l'irrigation ; mais ce qu'il y a de plus intéressant à en dire rentre tout à fait dans la matière de l'article suivant.

Emploi des eaux troubles ; colmatage. — Les considérations qui précèdent s'appliquent spécialement aux eaux claires, ou à celles qui sont assez peu chargées de matières étrangères pour pouvoir être répandues, dans le temps même de la végétation, et pour réclamer le secours des engrais. Quand il s'agit d'eaux fortement troubles, on les emploie d'une autre manière ; mais cela ne donne plus des arrosages. Ces eaux, dont on ne peut faire usage qu'en hiver, n'ont plus pour but de stimuler immédiatement la végétation, arrêtée par l'abaissement de la température, ni d'améliorer une récolte qui est enlevée ; mais elles ont l'immense utilité de transporter et de répandre, très-économiquement, sur le sol, des principes fertilisants, qui profitent à la récolte suivante. C'est sous ce rapport que l'em-

ploi des eaux troubles, de bonne nature, représente un des plus puissants moyens d'amendement que l'on connaisse, et c'est sous ce seul point de vue qu'on doit l'envisager ici.

L'irrigation proprement dite, pour produire tous ses avantages, réclame un climat et des circonstances locales, qui ne se rencontrent que sur une superficie limitée; l'usage de l'eau trouble est de tous les pays, et les améliorations qu'il procure sont praticables, indistinctement, dans le Midi et dans le Nord; c'est même dans cette dernière région qu'il a produit jusqu'ici les plus grands avantages.

Les magnifiques prairies du nord de la France et de l'Allemagne, du Danemarck, du Holstein, etc., et, parmi elles, celles qui sont renommées par l'abondance et la qualité de leurs fourrages, doivent leur grande fertilité aux inondations, naturelles ou artificielles, des rivières voisines.

Quand le dépôt des terres ou sédiments terreux, en suspension dans l'eau courante, s'opère sur une grande échelle, alors ce n'est plus seulement un simple moyen d'amendement, c'est le *colmatage* proprement dit; opération d'une grande puissance, dont j'ai déjà dit précédemment quelques mots, mais qui ne pourrait être traitée avec détail dans cet ouvrage, parce qu'elle réclame des considérasions spéciales, et surtout un système d'ouvrages tout différents de ceux qui appartiennent à l'industrie des arrosages.

CHAPITRE VINGT-HUITIÈME.

DES QUANTITÉS D'EAU NÉCESSAIRES AUX ARROSAGES.

§ I. *Difficulté de cette recherche ; utilité d'une évaluation moyenne.*

Quelle est la quantité d'eau nécessaire à l'irrigation d'une étendue déterminée de terrain ? Peu de questions ont été aussi agitées que celle-là ; et cependant l'on n'est tombé d'accord sur aucun résultat. Il ne faut pas s'en étonner. On a raisonné comme lorsqu'il s'agit de dégager l'inconnue dans un problème ordinaire ; en partant du principe que cette quantité devant exister d'une manière fixe et précise, il ne s'agit que de parvenir à la connaître.

Cette marche ne pouvait conduire à rien de juste, car on est à peu près dans le même cas que pour cette autre question que voici : Quelle est la température qui convient à la végétation ? Or, tout le monde le sait, cette température varie entre des limites très-éloignées, selon le climat et la nature des plantes. Les houblons et les colzas du nord de l'Europe réclament-ils les mêmes conditions atmosphériques que l'olivier et le citronnier dont les fruits ne mûrissent bien que sous la réverbération du soleil méridional qui visite les côtes de la Pro-

vence, de l'Espagne, de la Grèce ou de l'Italie, etc.? Le cèdre du Liban, jouissant de l'étonnante propriété de fournir une végétation gigantesque, au delà même de la région des neiges perpétuelles, se plairait-il dans les mêmes lieux que le caféyer et le géroflier, auxquels il faut la température brûlante des régions équatoriales?

Cependant les plantes ne diffèrent pas moins entre elles dans leurs capacités pour l'eau que dans leurs capacités pour la chaleur. Et cela se remarque surtout pour les cultures, qu'à l'aide des arrosages, on parvient à naturaliser artificiellement dans les contrées dont le sol fût resté en grande partie inoccupé, sans l'emploi de ce puissant moyen de fertilisation.

Ce serait donc faire une recherche imaginaire que de vouloir trouver une seule et même quantité d'eau, pouvant convenir à l'arrosage d'une étendue déterminée de terrain, tandis que mille circonstances différentes tendent à rendre cette quantité excessivement variable.

C'est par leurs suçoirs, c'est-à-dire par la pointe ou l'extrémité des fibres les plus délicates de leurs racines que les plantes pompent l'humidité du sol. Or, il n'est personne qui n'ait pu remarquer qu'il est des racines principalement chevelues et traînantes, qui, comme celles des herbes, formant la base des prairies ordinaires, occupent à peine quelques centimètres de profondeur dans la terre, tandis

que d'autres plantes, comme les sainfoins, les luzernes, et la plupart des arbres, lancent des pivots, qui atteignent souvent une grande profondeur. Ainsi, par la seule raison que l'eau d'irrigation, pour produire son effet utile, doit pénétrer dans des couches aussi inégalement situées, on doit concevoir qu'il faut, pour arriver à un même résultat, la dépenser en quantités très-variables, sur une étendue de terrain déterminée, suivant la culture à laquelle ce terrain est consacré. Mais ce n'est pas tout; car il faut remarquer qu'outre l'influence du climat, et de la nature, plus ou moins perméable, du sol, le degré de perfection apportée dans le dressement de sa surface, suivant des inclinaisons convenables, exerce aussi une grande influence sur la consommation de l'eau; car on en perd d'autant moins que cette surface est mieux disposée. Enfin les quantités exigées pour l'arrosage d'une certaine superficie de terrain, pendant des étés entièrement secs, comme cela est habituel, dans beaucoup de contrées méridionales, se modifient nécessairement, si les régions où l'on opère sont sujettes à des pluies estivales.

On voit donc que d'après ces nombreuses causes de variation, l'on ne peut jamais apprécier exactement à l'avance, et d'une manière générale, la quantité d'eau d'arrosage qu'il sera convenable d'employer sur une étendue donnée de terrain, sans s'être préalablement rendu compte expérimen-

talement de l'effet de ces diverses circonstances.

Cependant il y a quelque chose d'utile à dire sur cet objet. Seulement, cette utilité n'est pas au point de vue des intérêts privés. Le particulier qui acquiert la jouissance d'un certain volume d'eau, est tout à fait maître de l'employer sur telle étendue de terrain qui lui semble convenable. C'est le cas de dire qu'il peut faire, de son eau, des choux ou des raves, sans qu'on ait à s'en occuper. Il peut, si tel est son avantage, la faire servir à un usage industriel, ou d'agrément.

Mais le but que l'on a, en cherchant la quantité d'eau moyenne que doit consommer l'irrigation, est d'asseoir, sur une base convenable, les premières relations qui s'établissent, soit entre l'administration publique et les créateurs de canaux, soit entre ceux-ci et les usagers; car cette quantité entre nécessairement en ligne de compte dans l'évaluation des produits, à attendre d'une entreprise de ce genre; ainsi que dans la fixation des redevances, ou du prix de l'arrosage.

Voilà pourquoi, tout en sachant bien qu'une foule de circonstances doivent rendre variable le volume d'eau nécessaire à l'arrosage d'une certaine étendue de terrain, on doit néanmoins désirer de connaître une évaluation moyenne du rapport qui existe entre un certain écoulement, ou débit continu, pris pour unité, et la superficie de terrain à laquelle il peut fournir une irrigation convenable.

A défaut de pouvoir s'appuyer sur des données entièrement précises, qui manquent dans l'état actuel des choses, rien ne s'oppose à ce que l'on fasse directement cette recherche, en se demandant quel est le degré d'arrosage qui convient à une terre, d'une situation donnée, pour la placer, sous ce rapport, dans l'état normal de la plus grande production. Et pour cela, la meilleure marche à suivre est assurément d'observer ce qui se passe dans la nature; car si, connaissant la quantité d'eau naturelle, tombée dans le pays, pendant le cours d'une année pluvieuse, on procure, artificiellement, à la terre une quantité d'eau équivalente, en la faisant jouir ainsi du double et rare avantage d'une forte humidité, agissant sous l'influence d'une chaleur soutenue, on aura constitué, aussi complétement qu'il est donné à l'industrie humaine de le faire, les meilleures conditions de l'hygiène végétale, et de la production agricole qui en dépend.

Rien n'est plus connu que le chiffre total des quantités d'eau qui tombent annuellement dans les principales contrées du globe. On a, pour cela, des expériences en nombre suffisant. Il résulte de ces observations qu'une couche d'eau de $0^m,80$, $0^m,90$, 1 mètre ou plus, peut être regardée, presque partout, comme un produit plus élevé que la quantité de pluie qui tombe dans toute une année.

Alors, on doit nécessairement en conclure qu'en fournissant à la terre, par voie d'arrosage, et pen-

dant la saison convenable, une quantité d'eau équivalente à celle-là, on pourvoira amplement aux besoins d'une végétation aussi complète que possible.

Mais il y a lieu d'observer de suite qu'en matière d'arrosage, il est extrêmement rare que l'on puisse donner l'eau directement, à la terre sur laquelle elle doit être absorbée. Cette eau est conduite dans des rigoles, qui sont souvent d'une grande longueur, et où elle éprouve des filtrations d'autant plus grandes qu'elles sont plus perméables et plus desséchées au moment où l'on en fait usage. La même eau, surtout si on l'emploie pendant la chaleur du jour, subit encore un notable déchet, par le fait de l'évaporation, qui, dans ces circonstances, est extraordinaire, moins encore sur la surface de l'eau courante, que sur celle du sol échauffé, où elle se répand; enfin, d'après la méthode, généralement suivie, de n'arroser que sur des terrains en pente, la proportion des colatures, qui ne sont pas toujours employées en irrigations subséquentes, est assez considérable.

La moyenne des évaluations que j'ai vu adopter, dans le nord de l'Italie, porte ces colatures à environ un quart de la quantité d'eau livrée aux appareils régulateurs. A moins de circonstances exceptionnelles, c'est faire une large part à l'influence réunie des filtrations dans les rigoles et de l'évaporation, que de la porter au même chiffre, également en

moyenne. Donc, en prenant moitié en sus du maximum de l'eau pluviale qui tombe pendant l'année, et en dépensant, dans la saison d'arrosage, qui est ordinairement de cinq mois et demi ou de six mois au plus, un volume d'eau dérivée, équivalent à une couche totale de $1^{m},50$ de hauteur, on aura amplement pourvu aux besoins de la végétation, même dans un climat très-méridional.

Le débit continu correspondant à ce volume total, à employer dans les six mois de la saison d'arrosage, est très-approchant de 1 litre par seconde; car celui-ci donne :

Par jour, 86.400 litres, ou. .	$86^{mc},400$
Pendant trente jours. . . .	$2.592^{mc}, 00$
Pendant six mois.	$15.552^{mc}, 00$

Et ce dernier volume, répandu sur la superficie d'un hectare, qui est de 10.000 mètres carrés, y représente une couche de $1^{m},555$; plus forte même de $0^{m},055$ que celle qui vient d'être indiquée comme un maximum.

Cette quantité d'eau d'irrigation, que l'on peut regarder comme élevée, pour les prairies, serait superflue s'il ne s'agissait d'arroser que le lin, le maïs, les céréales, et autres plantes analogues ; mais elle serait généralement insuffisante, pour les jardins maraîchers, ou cultures potagères, qui, dans un climat aussi chaud que celui des Pyrénées et de la

Provence, où l'on ne voit pas une goutte de pluie pendant tout l'été, peuvent réclamer une quantité d'eau presque double.

Je ne parle pas ici des rizières et des prés milanais, qui sont, sous le rapport de l'arrosage, dans des conditions à part, et dont il est question dans les notes finales.

Le but de ce paragraphe est donc d'établir qu'on est conduit, par l'observation des faits naturels, à conclure qu'un débit continu d'un litre par seconde est suffisant à l'arrosage d'un hectare de terrain, ou, ce qui revient au même, que 1 mètre cube par seconde, suffit, et au delà, pour 1000 hectares, soit tout en prairies, soit en cultures variées; en les supposant toutefois, dans ce dernier cas, en proportions convenables pour que celles qui consomment moins d'eau que les prairies fassent compensation à celles qui en consomment davantage. Les détails donnés dans les deux paragraphes suivants vont confirmer ce principe.

Il est à remarquer que les cultures dont il s'agit ne demandant pas à être constamment irriguées, on répartira toujours, sans difficulté, les écoulements continus, sur lesquels se calculent les volumes d'eau d'arrosage, en périodes alternatives, attribuées soit à des usagers différents, soit aux diverses parties du domaine d'un même propriétaire.

§ II. *Expériences et évaluations.*

Si l'on connaissait, avec toute l'exactitude désirable, les quantités d'eau distribuées, la meilleure méthode d'évaluer celle qui convient, moyennement, à l'irrigation d'un hectare, ou de telle autre superficie de terrain, prise pour unité, serait, en opérant sur plusieurs localités en possession des bonnes pratiques, de diviser les volumes d'eau dépensés par les superficies qu'ils desservent, et de prendre la moyenne de ces résultats. Mais dans l'état actuel des choses, on ne peut avoir, à cet égard, que des approximations, puisque, même dans le nord de l'Italie, il existe, comme je l'ai démontré en traitant des modules, d'assez notables différences dans le débit que donnent, dans différentes circonstances, ces régulateurs, encore imparfaits. Or, tant que l'on n'aura pas obtenu un débit normal, pouvant servir de règle, dans tous les cas de la pratique, on manquera de la première des deux conditions essentielles qui peuvent faire connaître exactement la quantité cherchée.

Quant à la seconde condition, exigeant qu'il soit fait un bon usage de l'eau, dans la localité que l'on observe, elle est moins difficile à remplir. Je pourrais même citer des pays où l'on arrose très-bien, quoique avec des eaux d'un mauvais régime. Mais il en est d'autres où cette cause, et surtout le

manque d'ordre dans la distribution. ont rendu l'arrosage véritablement précaire et ses produits éventuels. Est-ce là qu'on pourrait aller établir des moyennes, pour connaître la quantité d'eau nécessaire à l'irrigation d'une certaine étendue de terrain?

C'est la réflexion que l'on doit faire en voyant ce qui a lieu en Provence; quand on voit, par exemple, le canal de Crapone passer pour fournir l'arrosage à 12 ou 14 mille hectares, tandis qu'il n'en irrigue effectivement, comme il faut, que 7 ou 8 mille; et encore avec de fréquentes interruptions, avec des chômages de quatre ou cinq mois, causés soit par la pénurie réelle, soit par la mauvaise répartition des eaux, soit enfin par les contestations incessantes qui ont lieu entre les usagers.

Rien de semblable n'a lieu en Italie, et les chances d'erreur n'y seraient jamais aussi fortes. Toujours est-il cependant, que nulle part, on n'y fait usage d'un appareil de distribution qui soit entièrement à l'abri de la critique. On est donc en droit de dire que, jusqu'à présent, l'on ne peut prétendre, sur cet objet, qu'à des approximations. Mais comme elles sont encore fort importantes à connaître, j'indique ici les diverses évaluations qui sont de nature à mériter le plus de confiance.

1° *Dans les Pyrénées.*—M. Mescur de Lasplanes, qui s'est beaucoup occupé des irrigations que peu-

vent fournir les cours d'eau des Pyrénées, notamment dans le département de la Haute-Garonne, qu'il habite, évalue, pour ces contrées, la consommation moyenne d'un hectare à 8.000 mètres cubes. Cette estimation, qui se rapporte à la fois aux prairies et aux autres cultures, usant moins d'eau, doit être voisine de la vérité, car elle suppose seize arrosages, à 500 mètres cubes chacun, ou vingt arrosages de 400 mètres cubes; et l'on peut voir par le tableau récapitulatif placé à la fin de ce chapitre, que cela rentre bien dans les cas usuels.

Dans leurs rapports sur les canaux d'arrosage, exécutés ou projetés dans ces contrées, notamment à l'occasion des dérivations du Tech, de la Thet, etc., MM. les ingénieurs ont généralement été d'avis que le débit de 1 litre par seconde était plus que suffisant pour les besoins d'un hectare. Quelques-uns avaient porté ce débit à une évaluation plus élevée, mais ils ont reconnu depuis qu'elle était exagérée, et, dans d'autres circonstances, ils ne l'ont pas maintenue (1).

(1) D'après une évaluation récente, basée sur une note fournie par M. Jaubert de Passa, la meule de 56 lit., 81 d'eau continue arroserait, dans le département des Pyrénées-Orientales, sur les territoires de Rivesaltes, Vinca, Elne, Perpignan, etc., des superficies variables, depuis 236 jusqu'à 400 hectares; ou, en moyenne, 336 hectares.

Ce ne serait donc que 0 lit., 169 d'eau continue par hectare; et, en supposant la rotation à 10 jours, on aurait effectivement, pour cette superficie, l'écoulement de 1 lit., 69 pendant 24 heures; ce qui ne représente qu'un cube de 146 mètres, c'est-à-dire moins de 1 centimètre 1/2 de hauteur. Cette quantité d'eau est beaucoup trop

2° *En Provence.* — Dans le département des Bouches-du-Rhône, notamment dans la Crau d'Arles, qui peut retirer un si grand avantage de l'irrigation, les agriculteurs pensent que, pour ces localités, il faut, par hectare de prairies, dans le courant d'un été sans pluie, quinze à seize arrosages d'environ 800 mètres cubes chacun; c'est donc de 12.000 à 12.800 mètres cubes par saison.

Cette évaluation paraîtra très-modérée si l'on a égard à la chaleur du climat, ainsi qu'à la nature maigre et caillouteuse de ces plaines arides, qui, avant l'arrosage, sont un véritable désert.

MM. les ingénieurs des départements des Bouches-du-Rhône et de Vaucluse, appelés fréquemment à donner des avis sur des questions d'irrigation, admettent presque constamment la base de 1 litre par hectare, adoptée en principe par le conseil général des ponts et chaussées.

Cependant, dans un mémoire qu'il a publié en 1834, M. l'ingénieur en chef Montluisant a émis l'opinion qu'un débit continu de 500 litres par seconde ne devait compter que comme convenable pour l'arrosage de 300 hectares au lieu de 500; mais, c'est sans doute en ayant égard à la culture

faible, et ne pourrait évidemment suffire aux besoins de l'arrosage, dans un climat aussi chaud que celui des Pyrénées-Orientales, le point le plus méridional de la France, et dont le sol, sur une grande partie de son étendue, est naturellement très-sec. Dans tous les cas ce chiffre, équivalent à un total de 2.626 mètres cubes par saison, sort tout à fait des évaluations habituelles.

des jardins, qui prédominent dans certaines localités de la Provence.

M. Alphonse Peyret-Lallier, propriétaire possédant, dans la même contrée, de vastes terrains arrosables, s'est livré à beaucoup de recherches sur ce sujet; il estime, d'après l'opinion de la majorité des ingénieurs, que le moulan de 265 litres par seconde peut irriguer, en Provence, à rotation de dix jours, 265 hectares, ce qui correspond exactement à la proportion, indiquée ci-dessus, de 1 mètre cube par seconde, pour chaque hectare arrosable.

M. le comte de Gasparin, dont le nom fait autorité en cette matière, comme en beaucoup d'autres, estime, à 10.000 mètres, le cube total nécessaire à l'arrosage, pendant une campagne de cinq mois. Ce volume d'eau correspond à vingt arrosages, de chacun 500 mètres cubes, et cela se rapproche du débit normal de 1 litre par seconde, donnant, par semaine, 604^{mc},800; ou, par hectare et par arrosage, un peu plus de 600 mètres cubes.

Dans le projet, qui avait été rédigé il y a quelques années, pour un canal de Mérindol, qui ne devait dériver rien moins que 34 mètres cubes d'eau de la rive gauche de la Durance, on avait évalué l'arrosage nécessaire aux prairies à une hauteur totale de 1^{m},50 par saison, et celui des jardins à une hauteur de 2^{m},50. Cela correspond à des cubes totaux de 15.000 mètres, et de 25.000 mètres par

saison ; lesquels concordent bien avec ceux du tableau ci-après.

3° *Dans les Hautes-Alpes, l'Isère, les Vosges et autres départements.* — M. Farnaud, qui a publié, en 1821, un mémoire sur les arrosages du département des Hautes-Alpes, part de cette hypothèse, qu'une hauteur d'eau de $0^m,48$, qui serait répartie sur les mois de juin, juillet et août, serait plus que suffisante pour les besoins des campagnes ; et d'après cela, il établit en principe que $0^m,16$ de hauteur d'eau pour chaque mois de chaleur, sans pluie, donnent le moyen de bien arroser un terrain quelconque. Cela représente un cube de 1,600 mètres par hectare et par mois ; et l'on voit, par le tableau susdit, que c'est là effectivement une des consommations d'eau très-modérées qui se font pour l'arrosage des prairies ordinaires.

Pendant six mois, cela correspond à un cube total de 9,600 mètres par hectare ; mais cela serait trop faible pour les localités où il ne pleut pas du tout pendant l'été.

Le même auteur, en indiquant la manière de vérifier à quelle superficie peut s'étendre, pour l'irrigation, le débit continu d'une eau courante, évalue à un sixième de l'eau dérivée la réduction que l'on doit prévoir, d'après celle qui se perd en évaporation et filtrations. C'est à peu près 0,17 ; et cette estimation, applicable à de très-petits canaux, s'éloigne peu de celle de 0,15 à laquelle, dans un

des chapitres précédents, je suis arrivé, par une moyenne, pour le chiffre analogue, applicable au Milanais, où sont les plus grands canaux d'arrosage, qui aient jamais été ouverts.

Dans le département de l'Isère, où il existe déjà des canaux de ce genre et où l'on peut en établir de nouveaux, qui seraient très-avantageux, on se rend peu de compte des quantités d'eau nécessaires; les particuliers qui ont droit de s'en servir, en usent, presque tous, bien au delà de leurs besoins réels; ce qui fait que beaucoup d'autres sont obligés de s'en passer. Mais cet inconvénient ou plutôt cet abus, n'est nulle part aussi sensible que dans le département des Vosges, où les eaux de la Moselle et celles de plusieurs autres rivières à fortes pentes, permettent de tirer parti de l'irrigation, sur une assez grande échelle. Les arrondissements de Remiremont, Plombières, Bains, etc., se trouvent, à cet égard, dans une situation très-avantageuse, mais dont on a usé jusqu'à présent sans règle ni mesure.

Quoique je n'aie pas visité toutes les irrigations de cette contrée, la partie que j'ai vue m'a bien prouvé qu'on y dépensait l'eau en quantités exorbitantes. C'est à tel point que des propriétaires, ou fermiers, ont détérioré totalement, par ce moyen, qui, du reste, est infaillible, la qualité de l'herbe de leurs prairies (1).

(1) Quelque grande et quelque connue que soit la consommation

4° *Dans le Piémont.* — Dans ce pays, il serait plus difficile qu'ailleurs d'avoir une moyenne générale pour la quantité d'eau que réclame l'irrigation d'un hectare; car les rizières, qui en exigent plus du double de ce qu'il faut aux prairies, y sont extrêmement répandues, et, qui plus est, existent en quantités toujours variables, d'après l'usage

surabondante de l'eau d'irrigation, dans les plaines et les vallées des Vosges, on ne peut regarder que comme le résultat d'une erreur inexplicable, l'exagération d'un fait relaté dans un mémoire imprimé, que j'ai eu sous les yeux, et qui a été publié, vers 1828, par M. Perrin, arpenteur forestier et architecte de l'arrondissement de Remiremont. L'auteur, voulant s'appuyer de la pratique, cite, comme règle à suivre, l'exemple d'une des plus belles prairies arrosées de cet arrondissement, dite le Pré Broquin, de 22 hectares. Elle est desservie par un canal de dérivation, fournissant, selon lui, 1^{m},440 par seconde, ou 5^{mc},655 en 24 heures et par hectare. Puis il estime qu'à raison d'une couche d'environ 0^{m},003, l'évaporation enlève, moyennement, 30 mètres; que l'absorption dans le sol, ou l'arrosage proprement dit, profite de 970,^{mc}, et que conséquemment il reste, toujours par chaque hectare, 4.655 mèt., qui, selon M. Perrin, s'écoulent dans les égouttoirs ou colateurs.

D'après les conclusions de ce chapitre, que j'ai cherché à asseoir aussi solidement que l'état actuel de la science et de la pratique permet de le faire, un débit continu de 1^{m},440 par seconde, sera partout considéré comme suffisant pour l'irrigation de 1,440 hectares; même dans les contrées du midi où il ne pleut pas pendant tout un été; même lorsqu'une partie des terres sont cultivées en jardins ou en rizières, qui consomment beaucoup plus d'eau que les prairies. Et cependant l'on donne ici ce débit comme entièrement absorbé sur un domaine de 22 hectares!

L'auteur du mémoire ne semble même pas s'apercevoir de ce qu'il y a d'inadmissible à citer comme irrigation modèle, celle dans laquelle, pour utiliser 1,000 mètres sur le sol, il faudrait perdre 4.655 mètres en colatures; surtout dans un pays où les eaux de cette dernière espèce sont, le plus souvent, jetées d'une manière tout à fait arbitraire, dans des fossés, ravins, et bas-fonds, où elles ne peuvent plus servir à des irrigations nouvelles.

que l'on a, dans plusieurs provinces, de n'adopter cette culture que temporairement, en l'introduisant dans des assolements à long terme, qui sont très-avantageux. Il faut donc, pour procéder avec exactitude, avoir deux évaluations distinctes.

En ce qui touche les prairies, le chiffre qui est généralement admis dans les provinces d'Ivrée et de Verceil, où se trouvent concentrés les principaux canaux du royaume, est tout à fait confirmatif de celui qui résulte déjà des développements donnés depuis le commencement de ce chapitre. En effet, on regarde que la petite once du pays, fournissant à peu près 22 litres par seconde, suffit moyennement pour l'irrigation abondante de 50 à 60 journées de prés bien disposés; la journée, mesure du pays, valant 38 ares, c'est entre 19 et 23 hectares que se trouve la superficie arrosée par 22 litres : c'est donc bien 1 litre par hectare, ou 1 ^{mc} pour 1000 hectares.

J'ignore si cette évaluation est également adoptée, comme règle, dans les provinces de Novare et de Mortara, où sont surtout situés les grands canaux particuliers, dont j'ai précédemment donné la description.

5° *Dans la Lombardie.* — Les provinces arrosées du nord de l'Italie sont dans le même cas que le Piémont, sous le rapport de la consommation d'eau qui se fait, soit sur les prairies, soit sur les rizières. Dans le Milanais proprement dit, où ces

rizières ne sont pas prédominantes, et où elles ne représentent qu'au plus le tiers de la totalité des surfaces arrosées, à peu près comme cela a lieu pour le jardinage, dans certaines parties de la Provence, on a des évaluations moyennes, qui concordent bien avec celle que j'ai déjà donnée. Dans les provinces de Mantoue, Vérone, et autres, où les rizières sont, sur certains territoires, la culture principale, ces moyennes ne seraient plus applicables.

Les évaluations données par les experts sont extrêmement variables ; ceux-ci portent la superficie, en cultures ordinaires, arrosée à rotation, par le débit continu d'une once de Milan, à 333 perches; ceux-là à 450 perches, mesure du pays; et l'on pourrait citer encore une foule d'estimations plus ou moins dissemblables entre elles.

Mais il en est une qui doit paraître beaucoup plus sérieuse et beaucoup plus plausible que toutes les autres, c'est celle de l'administration centrale des travaux publics, à Milan, laquelle est chargée, de concert avec l'administration des finances, de présider, par le ministère des ingénieurs, à toutes les mesures qui concernent la vente et la distribution des eaux des canaux du gouvernement, en même temps qu'elle a exclusivement, sous sa main, la surveillance et l'entretien de ces canaux.

Cette évaluation, telle qu'elle se trouve consignée dans la dernière statistique, dressée par les soins de

l'administration centrale, est de 1 once milanaise pour 700 perches de terrain. Or, en prenant l'once d'eau de ce pays au chiffre de 44 litres par seconde, que j'ai dû adopter comme l'évaluation moyenne la plus convenable entre le débit différent des grandes et des petites bouches, et la *perche* à sa valeur exacte, de 6 ares 55, qui résulte du tableau comparatif placé à la fin du tome III, on trouve que cela équivaut à 44 litres pour un peu plus de 45 hectares; ce qui est encore, à bien peu de chose près, 1 litre par hectare.

Je n'étendrai pas plus loin cette recherche, dont le but a été suffisamment justifié, et dont les éléments se trouvent groupés, sous la seule forme convenable, dans le tableau ci-après, qui donne le résultat de toutes les consommations d'eau usuelles que j'ai pu relever sur des domaines arrosés, principalement dans le nord de l'Italie.

Ce tableau, et les observations finales placées à la suite, montrent, pour ainsi dire, le fort et le faible de la question à laquelle a été consacré ce chapitre. Ils montrent, en effet, qu'il n'est pas impossible d'admettre une évaluation moyenne, au milieu des chiffres si nombreux et si variables qui répondent à l'emploi des eaux par hectare.

Du reste, on ne saurait trop le dire, de quelle manière que l'on s'y prenne, ce sujet est excessivement difficile à traiter. Malgré tout le soin que

j'ai mis dans son étude, mon travail ne sera sans doute pas exempt d'imperfections. Seulement, que les personnes qui seraient disposées à le critiquer, veuillent bien se rendre compte de ce qui existait jusqu'alors, en fait de documents de ce genre.

Volume livré aux bouches de prise-d'eau.	Volume perdu en filtrations préalables et par évaporation.	Volume abandonné en colatures.	Période ou rotation adoptée.	NOMBRE D'ARROSAGES par mois.	NOMBRE D'ARROSAGES par saison.
m. c. lit.	m. c. lit.	m. c. lit.	jours.	»	»
					1re JARDINS
»	»	»	5	6	36
»	»	»	5	6	36
»	»	»	3	10	60
»	»	»	3 1/2	9	54
»	»	»	2 1/2	12	72
»	»	»	3	10	60
					2e PRAIRIES
»	»	»	7 à 8	4	24
»	»	»	10	3	18
»	»	»	7 à 8	4	24
»	»	»	10	3	18
»	»	»	7 à 8	4	24
»	»	»	10	3	18
»	»	»	10	3	15
					3e LIN ; — MAÏS ; — CÉRÉALES ; —
»	»	»	60	»	3
»	»	»	45	»	4
»	»	»	30	1	6
»	»	»	20	1 et 2	9

HAUTEURS D'EAU			VOLUME PRODUIT		
par arrosage.	par mois.	par saison de 5 à 6 mois.	par arrosage.	par mois.	par saison.
m.	m.	m.	m. c.	m. c.	m. c
classe.					
MARAICHERS.					
0,04	0,24	1,44	400	2.400	14 000
0,05	0,30	1,80	500	3.000	18.000
0,04	0,40	2,40	400	4.000	24.000
0,05	0,45	2,70	500	4.500	27.000
0,04	0,48	2,88	400	4.800	28.800
0,05	0,50	3,00	500	5.000	30.000
classe.					
ORDINAIRES.					
0,04	0,16	0,96	400	1.600	9.600
0,06	0,18	1,08	600	1.800	10.800
0,05	0,20	1,20	500	2.000	12.000
0,07	0,21	1,26	700	2.100	12 600
0,06	0,24	1,44	600	2.400	14.400
0,08	0,24	1,44	800		
0,10	0,30	1,50	1.000	3.000	15.000
classe.					
PÉPINIÈRES; — PRAIRIES ARTIFICIELLES, ETC.					
0,15	»	0,45	1.500	»	4.500
0,12	»	0,48	1.200	»	4.800
0,10	»	0,60	1.000	»	6.000
0,80	»	1,72	800	»	7.800

Les quantités restées en blanc dans les deuxième et troisième colonnes, ne peuvent être remplies que dans chaque cas particulier, d'après des expériences spéciales. Je les ai mentionnées, pour mémoire, afin de montrer que, quand on s'occupe de calculs de ce genre, on doit toujours savoir s'il s'agit de volumes d'eau à utiliser en totalité, ou passibles d'un certain déchet.

Il ne faut regarder le tableau ci-dessus que comme un simple spécimen des quantités d'eau que réclame l'irrigation périodique, ou ordinaire. On conçoit qu'un très-grand nombre d'autres cas, également usuels, pourraient s'intercaler dans ses colonnes; mais, les limites resteraient les mêmes, et il ne résulterait de cette adjonction aucun enseignement utile, puisque rien ne limitant la faculté de faire varier, à la fois, les volumes d'eau partiels et les périodes, ou la rotation, il y a une infinité de manières différentes d'arriver à des cubes définitifs, à peu près équivalents.

C'est donc principalement sur la dernière colonne du tableau susdit qu'il faut se régler, pour les applications dont il s'agit. On y voit que les cultures irrigables peuvent être divisées en trois classes, dont la première réclame de 14.000 à 30.000$^{m.c.}$; la deuxième classe, de 9.000 à 15.000$^{m.c.}$; et, enfin, la troisième, de 4.000 à 8.000$^{m.c.}$ d'eau par hectare et par saison.

On se rappellera en même temps qu'un débit

continu d'un litre par seconde donne 2.592$^{lit.}$ par mois; c'est-à-dire, environ 13$^{m.c.}$,000$^{lit.}$ pendant cinq mois ou 15$^{m.c.}$,500$^{lit.}$ pendant six mois. Et, d'après le rang que ces chiffres occupent dans le tableau, on en conclura que ce débit représente une évaluation élevée, pour les prairies; ce qui n'empêche pas qu'elle pourrait se trouver insuffisante, s'il s'agissait principalement de cultures potagères, à établir sous un climat très-méridional.

Six mois sont le terme le plus étendu de la saison d'arrosage qui, dans le climat de la Lombardie, va du milieu de mars au milieu de septembre. Elle doit commencer plutôt dans la Provence, et surtout dans le Roussillon, où la température moyenne est beaucoup plus élevée. Dans la plupart des contrées, cinq mois ou cinq mois et demi d'irrigation sont bien suffisants. Mais les cubes à dépenser doivent rester à peu près les mêmes : c'est pour cela que l'on peut compter indifféremment sur cinq mois ou sur six mois.

Indépendamment de cela, il y a, on ne saurait trop le redire, une multitude de circonstances qui font tellement varier le chiffre dont il s'agit, que jamais l'on ne devra chercher, en fait d'indications générales, autre chose qu'une simple approximation.

Les données précédentes, ainsi que toutes les règles de la matière, sont généralement basées sur l'hypothèse qu'il n'y a pas de pluies d'été, dans les

localités où l'arrosage a, ainsi, toute son importance. Telle est la situation de celles que je viens de nommer. Mais faudrait-il renoncer à une si précieuse ressource dans les pays où des pluies ont lieu habituellement dans cette saison? non, sans doute; car l'expérience prouve que l'irrigation est toujours bienfaisante; seulement la différence porte entièrement sur les quantités d'eau à dépenser.

Dans les pays même où il ne pleut pas, les variations progressives, et constantes, de la température moyenne, exigeraient des variations correspondantes dans les quantités d'eau; c'est-à-dire qu'il faudrait que les eaux dérivées pussent se répartir, dans la saison d'arrosage, comme les eaux courantes en général le sont toujours dans leur lit, où elles ont un produit maximum, qui correspond au milieu, tandis qu'elles coulent en quantités minimes vers les deux bords. Partout on aurait besoin d'une irrigation beaucoup plus copieuse dans les mois de juin, juillet et août, qui sont ceux des plus fortes chaleurs, que dans ceux de mars, avril et septembre où la température moins élevée et où les pluies, ordinairement habituelles, du printemps et de l'automne, en rendent le besoin moins grand.

Il serait donc extrêrement avantageux de pouvoir, sans perte ni déchet quelconque, proportionner les volumes d'eau disponibles à l'état normal de la culture; mais, malheureusement, cela ne se rencontre nulle part; et lors même qu'on se trouve

dans des localités aussi privilégiées, que le Milanais, dont les principales rivières jouissent du rare avantage d'être toujours à pleins bords, dans les mois des plus fortes chaleurs, les eaux, vu l'élévation de leur prix, sont toujours allouées, aux usagers, en quantités fixes, qu'ils ne peuvent modifier que par voie de réduction, ou suppression ; autrement dit, en en laissant perdre.

Or, attendu que l'eau se paye indistinctement au même taux, dans toute la durée d'une saison, les cultivateurs, même instruits, ont de la peine à se persuader que cette eau peut devenir plus nuisible qu'utile ; et, de là, beaucoup d'irrigations surabondantes qui n'ont jamais lieu sans faire le plus grand mal ; souvent même un mal irréparable, consistant dans l'altération et dans la pourriture des racines. Les eaux de la meilleure qualité, celles-là mêmes avec lesquelles on emploie beaucoup d'engrais, ne sont pas exemptes de cet inconvénient. On le concevra aisément, en remarquant, premièrement que, même sans le concours de l'eau, tout abaissement de température exerce déjà une influence fâcheuse sur la végétation ; en second lieu que, gorger de nourriture un individu malade, et ne digérant pas, est, dans le règne végétal, comme dans le règne animal, un moyen assuré de destruction.

Indépendamment des influences diverses du climat, de la qualité, de l'exposition, ou de l'humidité naturelle du sol, l'emploi de l'irrigation doit être

modifié encore selon d'autres circonstances; notamment par la nécessité où l'on est de proportionner toujours son effet au degré de force des plantes qui la reçoivent. Les herbes frêles et tendres d'une prairie nouvellement semée ne sont certainement pas en état de recevoir, utilement, un aussi fort arrosage, que lorsqu'elles seront au moment d'être fauchées; les autres cultures sont relativement dans le même cas.

On voit, d'après tous ces détails, comment peuvent se concilier les deux points principaux démontrés dans ce chapitre; savoir : qu'il n'existe pas de volume d'eau qui puisse représenter exactement, et d'une manière générale, l'irrigation nécessaire à une étendue donnée de terrain; que, cependant, s'il ne s'agit que d'une moyenne, un peu large, considérée comme simple approximation, celle d'un litre d'eau continue, par chaque hectare, est une des plus satisfaisantes que l'on puisse adopter.

CHAPITRE VINGT-NEUVIÈME.

PROBLÈMES USUELS DANS LA PRATIQUE DES ARROSAGES.

§ I. *Observations préliminaires. — Formules.*

Dans les localités où l'irrigation est de peu de valeur et ne se pratique que sur une petite échelle, on ne s'occupe guère que de deux choses : avoir de l'eau et l'employer soi-même; ou bien en transmettre purement et simplement la jouissance à des tiers. Du reste, il ne se fait que peu ou point de transactions en dehors du cas le plus simple de la vente, ou de la location, de l'eau.

Il n'en est plus de même dans les pays où cette industrie est devenue d'un usage général et où les améliorations qu'elle opère portent sur la masse des propriétés. Alors le grand nombre d'intérêts qui s'y rattachent donne lieu à une multitude de questions nouvelles dont, auparavant, on n'aurait pas même soupçonné l'existence. On est amené ainsi à faire la distinction entre des éléments divers, dont les principaux sont : 1 la durée de la jouissance (*orario*), c'est-à-dire le nombre de jours ou d'heures pendant lesquels un même usager peut jouir de l'eau; 2° la période ou rotation (*ruota*), c'est-à-dire l'intervalle régulier après lequel recommence cette jouissance; 3° le prix de

vente ou de location de l'eau, qui est variable, suivant qu'il s'agit d'eau perpétuelle ou temporaire, d'eau d'été ou d'eau d'hiver. Ces éléments, que l'on pourrait mentionner en plus grand nombre, donnent déjà lieu à des questions diverses, qui se présentent très-fréquemment dans la pratique.

Il est constant, dans tout pays, que les propriétés d'une grande valeur, celles qui sont réputées être le meilleur placement de fonds, donnent lieu au plus grand nombre d'échanges. Or, dans cette classe, les terres arrosées, ou arrosables, occupent, sans contredit, le premier rang. Ensuite le partage égal des héritages entre les enfants, système qui tend à se propager, peu à peu, dans les pays méridionaux, où il avait longtemps rencontré peu de sympathies, donne lieu, surtout, à beaucoup de questions sur la jouissance des eaux. C'est ce qui fait qu'il n'est pas rare de voir, dans la Lombardie, par exemple, la mort d'un grand propriétaire réclamer le temps de dix ingénieurs, pendant plusieurs années consécutives.

Indépendamment, d'ailleurs, de la division de l'échange ou, en général, des mutations dans les propriétés arrosées, bien d'autres circonstances font naître des problèmes spéciaux sur le mode de jouissance des eaux. Ainsi, l'introduction, de plus en plus adoptée, de la culture temporaire du riz, dans les assolements, c'est-à-dire d'une culture à irrigation continue, qui vient s'intercaler dans des

cultures à irrigation périodique, suffirait seule pour donner naissance à beaucoup de ces problèmes. Mais ils résultent encore de plusieurs autres causes basées sur les convenances ou l'intérêt des divers usagers. C'est un particulier qui, voyant ses cultures en souffrance, parce qu'il est obligé d'arroser aux heures les plus chaudes du jour, sous une exposition défavorable, propose, moyennant quelques avantages, à un autre particulier, de permuter avec lui; c'est un voisin qui, réussissant parfaitement dans les combinaisons qu'il a adoptées, nous donne le désir de l'imiter, et d'abord celui de nous rendre compte, à l'aide de l'observation et du calcul, de sa situation réelle, etc., etc.

Tels sont les principaux motifs qui tendent à faire modifier journellement les conditions de la jouissance des eaux, dans les pays où l'irrigation a beaucoup d'importance. Pour la solution des questions qui en résultent, on peut employer quelques formules tout à fait élémentaires et dont l'usage est très-facile, puisqu'elles se réduisent à de simples règles de proportions. Elles sont donc à la portée de tout le monde; ce qui est fort essentiel, dans une matière dont l'intérêt est entièrement pratique. Cependant ces mêmes formules résolvent, en matière d'usage des eaux, tous les cas possibles dont, sans elles, plusieurs seraient très-compliqués.

En voici l'indication :

En appelant R, la période, ou rotation, suivant la-

quelle un volume d'eau est distribué; T, le temps de la jouissance; N, le nombre d'onces, ou de modules quelconques, représentant le débit de ce volume d'eau; Q, la quantité d'eau continue équivalente à la quantité interpolée, eu égard aux périodes, on aura :

$$(\text{N}^{\circ}\ 1)\ldots\ldots\ Q = \frac{NT}{R}.$$

Si, dans cette première expression, on veut introduire le prix de l'eau, ou avoir égard à la valeur réelle de l'attribution faite à tel ou tel usager, on aura, en appelant P ce prix :

$$PQ = \frac{P.N.T}{R}.$$

Le premier terme de l'équation exprime la valeur de cette attribution, réduite en eau continue; et le second terme, sa valeur équivalente, en eau périodique; de sorte qu'en désignant par U, cette première valeur, on aura :

$$(\text{N}^{\circ}\ 2)\ldots\ldots\ U = \frac{P.N.T}{R}.$$

Et, comme il arrive souvent que, dans les subdivisions et partages, on trouve de l'avantage à compter par heures, ces attributions diverses, sur la jouissance des eaux, il suffira, pour adapter la formule précédente à cet usage, de la présenter de cette manière :

$$\frac{U}{24T} = \frac{NP}{24R},$$

En désignat par V, la valeur de l'heure, ou en faisant $V = \frac{U}{24T}$, on aura :

$$(\text{N}^\circ\ 3)\ldots\ldots\ V = \frac{NP}{24R}.$$

Au moyen de ces différentes valeurs des quantités Q, U, V, on peut, par de simples substitutions, d'une équation dans l'autre, les obtenir sous telles autres formes, qui seraient avantageuses, d'après la nature mixte des questions qui se présenteraient à résoudre.

C'est ainsi que l'on peut avoir, à volonté :

$$Q = \frac{24TV}{P}; \quad U = 24TV; \quad V = \frac{U}{24T}.$$

Il resterait une dernière distinction à signaler entre l'eau d'été et l'eau d'hiver; car ni son prix ni ses usages ne sont les mêmes, dans ces deux saisons. Mais, comme les combinaisons que cela amènerait, dans les formules, ne sont plus aussi simples que les précédentes, et que l'irrigation proprement dite, pratiquée en hiver, n'est, jusqu'à présent, qu'à l'usage d'un petit nombre de contrées, je n'ai pas étendu à cette hypothèse les applications desdites formules, qui sont faites seulement aux cas les plus usuels. Le nombre de ces applications aurait pu être très-étendu, mais sans que cela fût utile, vu qu'elles se résolvent toutes de la même manière.

§ II. *Questions sur la transformation des jouissances d'eau continue en jouissances d'eau périodique; et réciproquement.*

Problème I. — *Un usager qui a droit, pendant six jours, à un volume de six onces d'eau périodique, livrée à rotation de 15 jours, voudrait transformer cette eau périodique en eau continue. On demande à combien d'onces il aurait droit?* — Solution : Il suffit de substituer dans la formule n° 1, les quantités numériques suivantes :

$$N = 6; \quad T = 6; \quad \text{et } R = 15;$$

Et l'on trouve de suite

$$Q = \frac{6.6}{15} = 2\frac{2}{5}.$$

Ainsi l'usager dont il s'agit pourra prétendre à 2 onces $\frac{2}{5}$ d'eau continue, comme équivalant à la quantité d'eau périodique désignée ci-dessus.

Problème II. — *Un usager a droit à un volume d'eau continue équivalant à 3 onces $\frac{3}{5}$, pendant 4 heures 12 minutes. On lui concède le débit d'une bouche de la portée de 12 onces. Quelle sera la période ou rotation convenable pour qu'il ait exactement la quantité d'eau qui doit lui revenir.* — Solution : On mettra ces valeurs numériques dans la formule $R = \frac{N.T}{Q}$, ce qui donne

$$R = \frac{12.4\frac{1}{5}}{3\frac{3}{5}} = \frac{252}{18} = 14.$$

Ainsi, c'est à des intervalles égaux de 14 jours que le débit d'une bouche de 12 onces devra être concédé pendant 4 heures 12 minutes, pour équivaloir exactement au débit de 3 onces $\frac{3}{5}$ d'eau continue.

Problème III. — *Un usager qui jouit de 4 onces d'eau continue, voudrait permuter avec un autre qui reçoit, pendant un certain temps, 20 onces d'eau, à rotation de 15 jours. Quel sera le temps de la jouissance nouvelle du premier usager?* — Solution : Les valeurs ci-dessus mises dans la même formule, donnent :

$$T = \frac{4.15}{20} = 3.$$

Ainsi, c'est pendant 3 jours, sur 15, que l'écoulement périodique de 20 onces d'eau est équivalent à un écoulement continu de 4 onces.

Problème IV. *Un usager jouit, pendant 6 jours, de 6 onces d'eau, à rotation de 15 jours; un second usager aurait besoin d'une quantité d'eau quadruple. Mais il est astreint à la recevoir pendant 5 jours et à rotation de 12 jours. Quel est le volume d'eau qui lui convient?* — Solution : Il faut que les deux rapports $\frac{nt}{r}$ et $\frac{NT}{R}$ soient :: 1 : 4; on posera donc :

$$1 : 4 :: \frac{6.6}{15} : \frac{5n}{12}, \quad \text{ou } 1 : 4 :: 144 : 25n;$$

D'où $$n = 23\frac{1}{25}.$$

Ainsi le volume d'eau cherché serait de 25 onces $\frac{1}{25}$.

Problème V. — *Un usager auquel il revient 7 onces d'eau pendant 6 jours 1/2, à rotation de 15 jours, voudrait changer ce volume d'eau contre un autre de 10 onces, avec périodes de 14 jours. Quelle serait la durée de la jouissance ?* — Solution : On doit avoir: $Q = q$, et dès lors :

$$\frac{NT}{R} = \frac{nt}{r}.$$

En substituant, dans cette équation, les valeurs données, on obtient

$$T = \frac{7 \times 6\frac{1}{2} \times 14}{15 \times 10} = 4,247.$$

C'est-à-dire environ 4 jours, 5 heures, 6 minutes.

Problème VI. — *Un volume d'eau de 20 onces est disponible tous les 12 jours; il appartient à trois usagers : le premier en jouit pendant six jours; le second pendant quatre; le troisième pendant deux. Ces deux derniers introduisent dans le canal commun un nouveau volume de 8 onces d'eau, sur lequel ils ont chacun un droit égal. Ils voudraient 1° que la période fût désormais de 14 jours au lieu de 12; 2° que le premier usager soumis à cette nouvelle période, fût exclu du bénéfice du volume d'eau supplémentaire, sans préjudice de ses droits antérieurs. On demande quelle sera, respectivement la, du-*

rée de la jouissance de ces trois usagers? — SOLUTION : On aura

$$\frac{20 \times 6}{12} = \frac{28T}{14},$$

d'où

$$T = \frac{20 \times 6 \times 14}{12 \times 28} = 5.$$

C'est-à-dire que la jouissance du premier usager, sur les 28 onces, et avec la nouvelle période des 14 jours, sera de cinq jours.

Pour avoir la jouissance du second, eu égard à ce qu'il a droit à moitié des 8 onces nouvelles, il convient d'assimiler sa première attribution, augmentée de ces 4 onces, à celle qui doit résulter des modifications convenues, et l'on aura dès lors

$$\frac{4 \times 20}{12} + 4 = \frac{28T}{14},$$

d'où

$$T = 5\frac{1}{3}.$$

La jouissance de ce second usager sera donc de cinq jours $\frac{1}{3}$.

Pour avoir celle du troisième, on opérera de même en posant :

$$\frac{2 \times 20}{12} + 4 = \frac{28T}{14},$$

d'où

$$T = 3\,\text{j.}\,\frac{2}{3}.$$

Comme vérification de la justesse de ce calcul on peut voir que la réunion de ces jouissances de cinq jours, cinq jours $\frac{1}{3}$, trois jours $\frac{2}{3}$, forme bien le total de 14 jours, qui est la nouvelle période demandée.

§ III. *Questions analogues, dans lesquelles il est tenu compte de la valeur de l'eau.*

Problème. VII. — *Un propriétaire afferme l'usage d'un canal de 9 onces, à un usager qui doit en jouir pendant 4 jours avec période de 12 jours, au prix de 1.200 francs l'once. Quel sera le montant du bail?* — Solution : En substituant les valeurs numériques dans la formule indiquée ci-dessus, on aura :

$$U = \frac{9 \times 4 \times 1.200}{12} = 3.600 \text{ fr.}$$

Problème VIII. — *Un usager a dépensé 3.000 francs pour avoir pendant 3 jours consécutifs la jouissance d'un volume d'eau, qui se donne à rotation de 12 jours et est évalué 1.200 francs l'once. Combien d'onces doit-il avoir louées?* — Solution : De la formule indiquée

$$U = \frac{N.T.P}{R},$$

on tire

$$N = \frac{UR}{TP},$$

et faisant les substitutions convenables, on trouve

$$N = \frac{3.000 \times 12}{3 \times 1.200} = 10.$$

Problème IX. — *On paye* 3.000 *frans pour l'amodiation d'un canal de* 10 *onces, dont la jouissance est de* 4 *jours consécutifs, avec période de* 15 *jours. A combien doit revenir la location d'une once d'eau continue?* — Solution : En introduisant ces données dans la formule

$$P = \frac{RU}{NT},$$

on trouve

$$P = 1.125 \text{ fr.}$$

Problème X. — *A raison de* 1.200 *francs l'once, on paye la somme annuelle de* 4.800 *francs pour l'usage de* 8 *onces d'eau, pendant six jours. Quelle doit être la période?* — Solution : De la formule

$$U = \frac{NTP}{R},$$

on tire :

$$R = \frac{NTP}{U},$$

qui devient dans le cas actuel

$$R = \frac{8 \times 6 \times 1200}{4800} = 12.$$

Ainsi la période cherchée serait de 12 jours.

Problème XI. — *Il est payé annuellement* 6.000 *francs pour la jouissance de l'usager A qui est les* $\frac{3}{5}$ *de celle de B. L'usager A jouit de son eau pendant quatre jours de suite, avec période de* 12 *jours. La jouissance de l'usager B se compose d'un pareil volume d'eau, dont le débit continu est de six jours, avec période de* 14 *jours; il a droit en outre à deux onces d'eau perpétuelle. On demande quel doit être le volume d'eau afférent à chacun de ces deux usagers et le prix de l'once pour le second?* — Solution. En donnant les valeurs qui résultent de cet énoncé aux lettres de la formule connue :

$$U = \frac{NTP}{R},$$

on a

$$6.000 = \frac{4NP}{12},$$

et

$$PN = 18.000.$$

Attendu que la jouissance de A doit être équivalente aux $\frac{3}{5}$ de celle de B, on aura

$$\frac{4N}{12} : \frac{6N}{14} + 2 :: 3 : 5;$$

ou plutôt,

$$7N : 9N + 42 :: 3 : 5;$$

d'où

$$N = \frac{126}{8} = \text{onc. } 15\,\tfrac{3}{4}.$$

Cette valeur substituée dans l'équation $PN = 18.000$ donnera $P = 1.142^{fr.},86$.

Problème XII. — *On demande quelle valeur a la jouissance d'une heure dans l'usage d'un canal, de la portée de 13 onces, dont l'eau se distribue avec une période de 14 jours; le prix de l'once étant de 1.200 francs.* — Solution : En faisant

$$N = 13 ; \quad R = 14 ; \quad P = 1200,$$

on aura, d'après la formule,

$$V = \frac{17 \times 1200}{24 \times 14} = 46^{fr.},43.$$

Problème XIII. — *On désire savoir quel doit être le prix de l'once dans un volume d'eau de 6 onces, distribué à rotation de 14 jours et dont 1 heure se paye 28 francs?* — Solution : On aura comme ci-dessus,

$$P = \frac{24RV}{N} = \frac{24 \times 14 \times 28}{6} = 1.568 \text{ fr.}$$

Problème XIV. — *Quelle doit être la période afférente à un arrosant qui, pour l'usage d'un canal de 10 onces, au prix de 1.200 francs l'une, paye 30 francs l'heure?* — Solution :

$$R = \frac{PN}{24V} = 16 \text{ j. } \frac{2}{3}.$$

Problème XV. — *Un usager jouit pendant quatre jours consécutifs, et avec période de*

12 *jours, d'un certain volume d'eau qu'il paye à raison de* 30 *francs l'heure, ce qui équivaut à* 864 *francs de location annuelle d'une once. Quel doit être ce volume d'eau.* — SOLUTION : D'après l'équation

$$V = \frac{24}{P} \cdot \frac{N}{R},$$

on a

$$\frac{N}{R} = \frac{24V}{P}.$$

En mettant cette valeur dans la formule fondamentale :

$$Q = T\frac{N}{R},$$

on aura

$$Q = \frac{24TV}{P},$$

et, en y substituant les valeurs données, cette expression deviendra

$$Q = \frac{24 \times 4 \times 30}{864} = 3\tfrac{1}{3};$$

alors d'après la formule précitée on aura :

$$N = \frac{3\frac{1}{3} + 12}{4} = 10.$$

Ainsi le volume d'eau cherché sera de 10 onces.

FIN DU TOME DEUXIÈME.

SBN 641325

TABLE

DES CHAPITRES DU TOME DEUXIÈME.

INTRODUCTION.

Page

Observations préliminaires. 1

LIVRE IV.

MESURE ET DISTRIBUTION DES EAUX.

PREMIÈRE PARTIE.

JAUGEAGES, OU MESURES APPROXIMATIVES DU VOLUME DES EAUX COURANTES.

CHAP. XIV. — Considérations préliminaires. — Formules et applications. 7

CHAP. XV. — Méthodes directes de jaugeage. . . . 33

SECONDE PARTIE.

MODULES, OU MESURES EXACTES DU VOLUME DES EAUX COURANTES.

CHAP. XVI. — Considérations préliminaires sur les modules. 67

CHAP. XVII. — Absence de mesures exactes, pour la distribution des eaux, dans le midi de la France et dans le midi de l'Italie. . 101

CHAP. XVIII. — Modules et appareils imparfaits, adoptés dans les diverses provinces du Piémont et de la Lombardie. 120

CHAP. XVIX. — Module milanais. 145

LIVRE V.

TRACÉ, ÉTABLISSEMENT ET ENTRETIEN DES CANAUX.

Page

CHAP. XX. — Diverses espèces de canaux; tracé et opérations préalables. 177

CHAP. XXI. — Détermination des pentes et des sections convenables pour les divers canaux, dans un système d'arrosage. 199

CHAP. XXII. — Tracé définitif. — Projets. 243

CHAP. XXIII. — Exécution des terrassements. — Entretien et curages. 272

CHAP. XXIV. — Détail et exécution des ouvrages d'art. 294

CHAP. XXV. — De l'emploi spécial des eaux de source pour l'irrigation. 344

LIVRE VI.

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA PRATIQUE DES IRRIGATIONS.

CHAP. XXVI. — Principes généraux. — Influence de l'eau sur la végétation. 363

CHAP. XXVII. — Disposition préalable des terrains à arroser. — Tracé des rigoles. — Qualité et mode de distribution des eaux. — Nécessité des engrais. — Colmatage, etc. 382

CHAP. XXVIII. — Des quantités d'eau nécessaires aux arrosages. 414

CHAP. XXIX. — Problèmes usuels dans la pratique des irrigations. 441

Paris. — Imprimerie de FAIN et THUNOT, rue Racine, 28, près de l'Odéon.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google